This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Sci
1080.
40.8

HARVARD COLLEGE LIBRARY

BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787-1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1885.

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS,

11106 Quai des Augustins, 55.

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE
PAR DÉCRET DU 15 JANVIER 1881.

ANNÉE 1885.

PARIS,
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ,
44, RUE DE RENNES, 44.

1885

Sci 1080.40.8

HARVARD COLLEGE
MAR 12 1921
LIBRARY

Degrand fund

William Crosselette
Ingénieur

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

SÉANCE DU 16 JANVIER 1885.

PRÉSIDENCE DE MM. POTIER ET SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 19 décembre est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Claveau, Professeur au Lycée de Montluçon;
Hagenbach, Professeur à l'Université de Bâle (Suisse).
Minne, Constructeur d'intruments de Physique, à Paris.
Tonarelli, Censeur du Lycée de Périgueux.

M. le Président annonce à la Société les pertes regrettables qu'elle vient de faire par la mort de MM. Cabart, Examinateur à l'Ecole Polytechnique; Ritter, Professeur à la Faculté de Médecine de Nancy, et Ternant, Directeur de l'Eastern Telegraph C° à Marseille.

M. le Président déclare le scrutin ouvert pour la nomination du Vice-Président, du Secrétaire général, du Vice-Secrétaire, de l'Archiviste-Trésorier, de deux Membres pour la Commission du Bulletin et pour le renouvellement partiel du Conseil.

Sont élus :

Vice-Président : M. Sebert;
Secrétaire général : M. Joubert;
Vice-Secrétaire : M. de Nerville;
Archiviste-Trésorier : M. Maurat;
Membres de la Commission du Bulletin : MM. Bouty et Mascart.

Sont élus Membres du Conseil pour une période de trois années :

Membres résidants.	*Membres non résidants.*
MM. Angot,	MM. Warren de la Rue (Londres),
Benoit (René),	Lemström (Helsingfors),
Mallard,	Moitessier (Montpellier),
Weyher,	Neyreneuf (Caen).

M. Pollard, rapporteur, donne lecture du Rapport de la Commission des Comptes sur l'exercice de 1884.

Les conclusions du Rapport sont mises aux voix et adoptées.

M. le Président Potier, avant de quitter le fauteuil de la présidence, rend compte des travaux de la Société pendant l'année qui vient de s'écouler.

Après cette allocution, M. Potier, en l'absence de M. Marey, Vice-Président de l'année précédente, cède la présidence à M. Sebert, Vice-Président pour l'année 1885.

M. Jannettaz montre qu'on peut appliquer à la mesure de la conductibilité thermique relative de différentes matières (roches, minéraux, etc.) isotropes ou considérées comme telles, le procédé imaginé par de Senarmont pour les substances cristallisées anisotropes. On sait qu'il suffit pour cela de tailler les cristaux en plaques à faces parallèles, sur lesquelles on étale une matière grasse, et de percer les plaques d'un trou circulaire où passe une tige chauffée à l'une de ses extrémités. La chaleur se répandant de la tige dans la plaque, la matière grasse fond; une fois l'équilibre de température établi, la fusion s'arrête à une distance de la tige qui varie avec la direction suivie par le flux de chaleur. Entre les axes de l'ellipse qui limite la fusion et les coefficients de conductibilité thermique qui les caractérisent, il y a cette relation très simple établie par les calculs de Duhamel

$$\frac{K}{K'} = \frac{x^2}{x'^2}.$$

M. Jannettaz fait remarquer que la même relation peut être appliquée à des matières différentes, K et K' étant les coefficients propres à deux plaques et x et x' les rayons des cercles de fusion. Il est indispensable ici que la température reste la même pour les deux plaques. On peut obtenir ce résultat en faisant traverser la plaque par un tube fin de cuivre où passe un courant de vapeur d'eau.

Il n'est pas indispensable que la plaque soit percée. Des expériences faites sur des plaques de tôle de $0^m,006$ d'épaisseur ont montré que les cercles de fusion avaient sur les deux faces des plaques exactement le même diamètre (de $0^m,15$ à $0^m,20$ suivant la température de la source de chaleur qui était le thermocautère Paquelin). On peut donc, en prenant des plaques minces, leur appliquer l'appareil connu de M. Jannettaz ou, pour des températures moins élevées, un tube où circule de la vapeur d'eau. C'est ce que l'auteur prouve par diverses expériences.

M. Lippmann présente à la Société un compteur d'électricité fondé sur le même principe que son galvanomètre à mercure. Au lieu de s'élever dans un tube manométrique vertical, le mercure est refoulé dans un tube recourbé dont une extrémité vient s'ouvrir au-dessus du réservoir à mercure. Le mercure s'écoule par cet orifice et retombe dans le réservoir; lorsque le courant électrique passe, l'appareil fonctionne donc à la manière d'une

petite fontaine perpétuelle. Le débit de mercure étant proportionnel à l'intensité du courant, le poids de mercure écoulé est proportionnel à la quantité d'électricité dépensée. Un double auget à déversement, en rapport avec un compteur à cadrans, permet d'enregistrer le poids de mercure écoulé. On gradue ou bien on règle l'appareil expérimentalement.

RAPPORT DE LA COMMISSION DES COMPTES

SUR L'EXERCICE 1884.

La Commission a reçu du Trésorier les documents et les renseignements qui lui ont permis d'établir ainsi qu'il suit la situation financière de la Société.

Recettes.

	fr
Le 1er janvier 1884, la Société possédait en caisse	1672,80
Du 1er janvier 1884 au 1er janvier 1885 :	
Les cotisations ont produit	6915,00
Les droits d'entrée	360,00
Les versements entiers ou partiels des Souscripteurs perpétuels.	2250,00
Les intérêts du capital placé (73 obligations du chemin de fer du Midi)	1040,50
Produit de la vente de 49 exemplaires du Volume de Coulomb (1).	564,00
Don, à titre d'encouragement, du Ministre de l'Instruction publique	500,00
Don d'un Membre de la Société	5000,00
MONTANT DES RECETTES	18302,30

Dépenses du même exercice.

	fr
Du 1er janvier 1883 au 1er janvier 1884 :	
Impression des ordres du jour (1883)	527,90
Bulletin de la Société (1884) (Gravure et distribution) (2)	354,55
Impression de Circulaires, Cartes, Bulletins de vote, Statuts, etc.	439,60
Abonnements aux journaux scientifiques	323,05
Bibliothèque circulante	82,45
Frais de bureau et frais divers (3)	647,30

---

(1) Ministère de l'Instruction publique et Association française pour l'avancement des Sciences.

(2) Les frais d'impression n'ont été payés qu'en janvier 1885, voir ci-après.

(3) Dans les frais divers, sont compris les frais de recouvrement des cotisations, les étrennes, etc.

Traitement de l'Agent de la Société (1er décembre 1883 au 1er décembre 1884)	1400,00
Loyer	600,00
Dépenses occasionnées par la séance de Pâques	246,50
Impression et gravure du Volume de Coulomb	7182,10
MONTANT DES DÉPENSES	11803,55
EXCÈS DES RECETTES SUR LES DÉPENSES	6498,75

C'est l'existant en caisse au 1er janvier 1885.

Depuis le 1er janvier 1885 jusqu'au 9 janvier, date de la réunion de la Commission, des entrées et sorties importantes ont modifié notablement la situation financière. Une grande partie de ces mouvements se rapportant aux recettes et aux dépenses de l'exercice précédent, la Commission a cru devoir en dresser l'état suivant, arrêté à la date du 9 janvier (exclus).

En caisse au 1er janvier 1885 6498,55

Recettes.

Du 1er au 9 (exclus) janvier :

	fr
Produit des cotisations	410,00
Droits d'entrée	30,00
Versements de souscripteurs perpétuels	250,00
Vente du Volume de Coulomb	828,35
	8017,10

Dépenses.

	fr
Bulletins de la Société 1883-84	2162,15
Ordres du jour 1883-84	856,25
Impression et distribution des convocations, cartes, circulaires.	215,35
Bibliothèque circulante	10,05
Frais de bureau et frais divers	70,70
Traitement de l'Agent (décembre 1884)	100,00
A-compte à M. Gauthier-Villars relatif au tome II des *Mémoires*.	4318,25
	7732,75
Existant en caisse au 9 janvier 1885...	284,35

Capital placé.

La Société possède en portefeuille 73 obligations du chemin de fer du Midi se décomposant ainsi qu'il suit :

	Prix d'achat.	Valeur au cours actuel.
	fr	fr
50 obligations nominatives	17800,20	18712,50
23 » au porteur	8191,30	8681,50
73	25991,50	27394,00

Il faut ajouter à l'actif de la Société :

Cotisation à recouvrer	1810fr
Volumes Coulomb en magasin	875
D'après les statuts, le capital placé au nom de la Société doit représenter le montant des sommes versées par les souscripteurs perpétuels et qui est aujourd'hui de	18600,00
En raison de l'augmentation du nombre des Souscripteurs perpétuels, la Commission pense qu'il y aurait lieu d'accroître le capital nominatif en opérant le transfert de 5 obligations au porteur. Au cours actuel de 374 fr. 25 c. le capital nominatif s'élèverait alors à 55 × 374,25	20583,75
Les 18 obligations au porteur, restant entre les mains du Trésorier, représenteraient une somme de (1)	6736,50

La Commission, après avoir vérifié l'état de la caisse et s'être fait présenter les pièces de comptabilité, a établi ainsi qu'il précède le budget des recettes et dépenses et en propose l'adoption à la Société.

Les Membres de la Commission des Comptes,

J. Pollard, Baille, J. Duboscq.

ALLOCUTION DU PRÉSIDENT.

Messieurs,

Notre Société est encore bien jeune, et cependant les ouvriers de la première heure disparaissent déjà; chaque année en emporte quelques-uns : d'Almeida d'abord, puis l'année dernière Niaudet; cette année, la liste de nos pertes est bien longue : M. le comte du Moncel, l'encyclopédiste de l'Électricité, l'inventeur E. Bourdon, le baron Paul Thenard, le savant M. Quet, notre ancien président de 1876, M. Daguin et M. Cabart étaient de ceux qui s'étaient joints dès l'origine de notre Société à d'Almeida. Pendant les vacances, loin de nous et loin des siens, M. Bertin,

(1) Comprenant, bien entendu, les 5000fr généreusement offerts par un membre anonyme. La destination de cette somme a été bien précisée par le Donateur qui désire que la Société l'affecte à l'impression d'un volume de Mémoires de Physique ajouté à ceux dont elle a déjà entrepris la publication.

sous-directeur de l'École Normale, était frappé en Suisse; je n'ai pas besoin de vous rappeler, Messieurs, que M. Bertin avait l'habitude de réunir à l'École Normale, pour répéter les expériences nouvelles et les discuter, un groupe de physiciens français qui fut le noyau de notre Société; les circonstances ne nous ont pas permis de lui rendre les derniers devoirs, mais votre Conseil a saisi avec empressement l'occasion qui lui était offerte de témoigner de sa reconnaissance des services rendus par M. Bertin, en s'associant aux élèves de l'École Normale, dans la souscription ouverte par eux pour perpétuer la mémoire de l'homme excellent dont l'enseignement a formé de nombreuses générations de physiciens.

Nous avons encore perdu MM. d'Arlincourt, Meyer, Béthune, Lartigue, directeur de la Société des Téléphones, et MM. Bontemps et Ternant, frappés tous les deux presque au début de leur carrière.

Il est consolant de constater que, malgré ces disparitions trop nombreuses, notre Société fait preuve d'une vitalité croissante. 67 membres nouveaux, dont 6 étrangers, se sont fait inscrire cette année. Les réunions de Pâques, pour lesquelles M. l'amiral Mouchez nous a offert l'hospitalité la plus large et la plus complète, n'ont pas été moins brillantes que les précédentes, grâce au concours de MM. Weyher et Richemond qui nous ont obligeamment encore fourni la force motrice et de M. Boistel, représentant de la Société Siemens, qui s'est chargé de l'éclairage; tous les constructeurs de Paris ont répondu à notre appel, et nous avons eu le plaisir d'y voir exposés et expliqués par lui-même plusieurs appareils du professeur Sylvanus Thompson.

Nos confrères non résidants ont ainsi pu être témoins de toutes les expériences qui avaient été faites dans nos réunions ordinaires.

D'intéressantes Communications n'ont cessé d'alimenter nos séances; les modifications de la structure moléculaire du soufre, suivant la température à laquelle il a été porté, et le temps pendant lequel il y est resté, ont ouvert à M. Gernez un champ de recherches presque illimité, et il nous a fait connaître une nouvelle méthode d'investigation. M. Cornu, profitant de la différence des indices des radiations émises par les deux extrémités de l'équateur solaire, a pu débrouiller le groupe α d'Angström, et, grâce à l'énorme dispersion d'un réseau de M. Rowland, y distinguer net-

tement les raies d'origine tellurique des raies d'origine solaire; débarrassée des raies solaires, la structure de ce groupe se rapproche de celle des groupes A, B. Les lueurs crépusculaires si remarquables attribuées à l'éruption du Krakatoa ont été aussi l'objet des études de notre confrère; il a signalé une importante perturbation de la polarisation atmosphérique qui accompagne ces phénomènes et pourra éclairer sur leur véritable cause.

L'électricité a suscité de nombreux travaux; je rappellerai seulement les recherches de M. Pellat sur les causes de l'électrisation des nuages, celles de M. Bouty sur la conductibilité des solutions très étendues et la loi remarquable qu'il en a déduite, celles de M. Foussereau sur la résistance de l'eau, des verres, des sels anhydres et autres corps mauvais conducteurs, et les ingénieux appareils instantanés de mesures électriques de M. Lippmann.

Je mentionnerai enfin les recherches de M. Mascart sur la valeur de l'ohm, et la série de travaux de MM. Mascart, Benoît et de Nerville, qui a abouti à la construction d'étalons de résistance d'une merveilleuse précision.

Un témoignage précieux de l'estime en laquelle est tenue notre Société nous a été donné dans la séance du 2 mai. Les plus éminents physiciens de l'Europe, que la réunion de la Commission internationale des unités électriques avait amenés à Paris, ont voulu assister à cette séance; nous avons eu l'honneur de voir au milieu de nous Sir W. Thomson et M. Broch, membres honoraires de la Société, MM. Van der Mensbrugghe et Tacchini, membres de notre Conseil, et MM. von Helmholtz, Bosscha, Hughes, F. Kohlrausch, Roiti, Werner Siemens, H. Weber, G. Wiedemann, Rousseau.

Deux nouveaux membres honoraires ont été élus : M. Graham Bell et M. Edlund.

Tels sont les faits les plus saillants de notre histoire de 1884. Le premier Volume de nos Mémoires a été distribué; la générosité de notre confrère anonyme permettra de distribuer, cette année, un et peut-être deux Volumes, relatifs à l'électrodynamique et aux travaux d'Ampère, que nous devrons à notre infatigable secrétaire général.

SÉANCE DU 6 FÉVRIER 1885.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 16 janvier est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Sarrau, Ingénieur en chef des Poudres et Salpêtres, Professeur de Mécanique à l'École Polytechnique.

Vieille, Ingénieur des Poudres et Salpêtres, Répétiteur à l'École Polytechnique.

M. le Président fait part à la Société de la perte qu'elle vient de faire en la personne de M. A. Prazmowski, astronome, ancien Directeur de l'Observatoire de Varsovie, constructeur d'instruments d'Optique.

M. le Président annonce qu'une Exposition des Inventions brevetées en France se tiendra au Palais de l'Industrie, à Paris, de juillet à novembre 1885.

MM. Angot, Benoît, Mallard, Moitessier et Warren de la Rue, nommés membres du Conseil, adressent leurs remerciements à la Société.

M. Krouchkoll expose ses expériences sur la variation de la constante capillaire à la surface eau-éther, eau-sulfure de carbone, sous l'action d'une force électromotrice. Il reproduit une série d'expériences de M. Lippmann en remplaçant le mercure par de l'éther ou du sulfure de carbone, ces liquides devenant conducteurs lorsqu'ils sont chargés d'eau et en même temps n'étant pas miscibles à ce dernier liquide.

M. Krouchkoll a constaté que l'éther et le sulfure de carbone jouent le rôle du mercure, seulement les variations de la constante capillaire sont beaucoup plus lentes que dans le cas du mercure.

M. Krouchkoll a vérifié par une expérience directe que la surface eau-éther se polarise par le passage d'un courant.

M. Baille, à propos de la détermination de l'ohm, a étudié d'une manière spéciale la méthode de l'amortissement des aimants mobiles. Cette méthode, indiquée en 1860, par M. Weber, est fondée sur l'ancienne expérience de Gambey et d'Arago. La formule à laquelle on est conduit peut s'écrire, si toutes les quantités sont mesurées en valeur absolue, dans le système C.G.S, $R = G^2 \frac{M^2}{n}$. (R, résistance de la bobine au centre de laquelle oscille l'aimant; G, constante galvanométrique de cette bobine; M, moment magnétique de l'aimant mobile; $n = 2\mu\alpha$, double produit du moment d'inertie par le décrément logarithmique α.)

Le nombre n, qui se déduit du coefficient de la vitesse dans l'équation du mou-

vement, $\mu \frac{d^2\omega}{dt^2} + N \frac{d\omega}{dt} + k\omega = 0$, s'obtient facilement par l'observation. Il suffit de lire les élongations nécessaires de l'aimant oscillant, d'abord dans la bobine ouverte (n'), puis dans la bobine fermée (N) : le moment de la résistance dû aux courants induits est alors $n = N - n'$. Le quotient de deux amplitudes nécessaires donne $z = e^{-\alpha T}$ (T durée de l'oscillation) et par suite α et N. C'est un élément très facile à mesurer et très constant, quand on a pris les précautions convenables pour avoir de bonnes oscillations, et quand on s'est garanti des perturbations magnétiques.

Dans la formule précédente, les quantités M et n, et les autres éléments dont la connaissance est nécessaire pour le calcul, tels que couple de torsion du fil, composante horizontale terrestre, etc., s'obtiennent très facilement avec une très grande approximation. M. Baille a fait deux séries de mesure, avec deux bobines différentes. Dans la première série, la correction due à la self-induction était notable; dans la deuxième série, cette correction avait été rendue complètement négligeable : aussi les valeurs obtenues pour le quotient $\frac{M^2}{n}$ sont-elles remarquablement constantes. Les cinq nombres obtenus, ramenés à 0°, varient entre 46415,2 et 46465,4, soit une erreur moyenne de $\frac{1}{2000}$. M. Baille pense donc que les erreurs théoriques qu'on a cru voir dans cette méthode proviennent seulement de la self-induction, et qu'on peut s'en affranchir complètement, avec des précautions convenables, telles qu'une durée d'oscillation suffisamment longue.

Avec de pareils résultats, M. Baille pensait pouvoir donner une bonne valeur de l'ohm, mais il s'est heurté, à ce moment, à une difficulté imprévue, la détermination rigoureuse de G. A cause de la grande sensibilité de l'appareil, sensibilité nécessitée par les autres mesures, la variation de la déclinaison était de l'ordre des déviations qu'il s'agissait de mesurer. Il reste donc dans la valeur de G une indécision qui se traduit par une erreur de $\frac{1}{100}$; et comme les variations de la déclinaison se font sentir à la fois sur le barreau et sur la bobine, le coefficient obtenu G est toujours trop fort; c'est-à-dire que la valeur de l'ohm donnée 105,67 est trop faible.

Pour se préserver de cette indécision et obtenir une bonne valeur de G, il faudrait se placer dans des conditions spéciales, donner de grandes déviations et observer les angles au goniomètre. Mais ce sont là des conditions qu'il aurait fallu prévoir dès le début de la construction des appareils.

Quoi qu'il en soit, la méthode de l'amortissement, appliquée avec des précautions convenables, peut donner des résultats aussi bons que n'importe quelle autre méthode, et c'est surtout cette constatation que M. Baille voulait faire.

A propos de la Communication précédente, M. Mascart ajoute qu'il a étudié la condition théorique de la méthode d'amortissement, pour chercher s'il était possible d'expliquer la différence constante que paraissent présenter les résultats qu'elle fournit, avec ceux que donnent les autres méthodes.

En toute rigueur, l'expression de la déviation, lorsque le circuit est fermé, contient un terme exponentiel, mais ce terme est négligeable dans les expériences et le mouvement peut encore être considéré comme périodique. Toutefois le décrément logarithmique λ et la durée d'oscillation τ ne sont pas liés aux valeurs correspondantes λ_0 et τ_0 relatives au circuit ouvert par la relation

$$\frac{\pi^2 + \lambda^2}{\tau^2} = \frac{\pi^2 + \lambda_0^2}{\tau_0^2},$$

que l'on admet généralement.

Si l'on tient compte de cette cause d'erreur et qu'on appelle R_1 la valeur approchée de la résistance, abstraction faite du coefficient de self-induction L de la bobine,

$$R = R_1\left(1 + L\frac{\lambda}{\tau}\right).$$

La correction relative au coefficient de self-induction est donc moitié moindre que celle qu'on fait habituellement.

D'autre part, le courant induit provoque une aimantation transversale qui n'est pas négligeable; car, avec des hypothèses très voisines de la réalité, elle entraîne une correction négative de 0,0025. En diminuant ces deux causes d'erreur, on diminue la valeur numérique de la résistance observée, par suite on augmente la valeur de l'unité.

M. Baille répond que, même avec les plus forts amortissements employés, il n'a jamais constaté de différence appréciable entre les durées d'une oscillation prises à circuit ouvert et à circuit fermé, et cependant le temps se mesure avec une très grande exactitude. On peut donc admettre que les oscillations restent pendulaires, au moins tant que la correction de la self-induction est négligeable.

Quant à l'aimantation transversale, elle devait être complètement négligeable dans ses expériences; puisque cette aimantation dépend de la durée d'une oscillation, et qu'il a soigneusement vérifié que l'amortissement reste constant, quelle que soit cette durée, pour un même aimant et une même bobine.

M. Cornu signale une cause d'erreur dont il faut tenir compte toutes les fois que, dans une expérience, un pôle d'aimant se meut très près d'un conducteur de gros diamètre. C'est précisément ce qui se passe ici pendant l'oscillation de l'aimant : le diamètre du fil de la bobine n'est point négligeable par rapport à la distance de l'aimant à la bobine, on ne peut donc pas rigoureusement remplacer, pour l'établissement des formules, le fil par son axe géométrique. La grosseur du diamètre du conducteur introduit aussi une indétermination dans la distribution du flux électrique qui le traverse.

M. Baille répond que la cause d'erreur signalée atteint surtout la détermination théorique de G, constante galvanométrique de la bobine; mais qu'elle ne paraît pas avoir d'influence sur la détermination expérimentale de cet élément.

SÉANCE DU 20 FÉVRIER 1885.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 6 février est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. CHAPUY (PAUL), Élève Ingénieur des Mines, à Paris.
PERROT (PAUL), Aide au Bureau international des Poids et Mesures, à Sèvres.
DE LA TOUANNE, Ingénieur des Télégraphes, à Paris.

M. COLSON présente une nouvelle disposition de téléphone magnétique.

D'après la loi de Faraday, la force électromotrice des courants induits développés dans le fil d'un téléphone magnétique transmetteur est proportionnelle au nombre des lignes de force du champ magnétique qui coupent le fil dans l'unité de temps par suite des vibrations de la plaque. Il y a donc intérêt, pour constituer un transmetteur puissant, à faire en sorte que le plus grand nombre possible des lignes de force soit concentré sur la bobine et affecté par les vibrations de la plaque.

Dans le téléphone récepteur, l'action est réciproque, et il y a, de plus, à considérer les vibrations moléculaires qui se développent dans la plaque et dans l'aimant; on voit donc qu'il y a encore intérêt, pour former un récepteur énergique, à ce que le plus grand nombre possible des lignes de force du champ magnétique soit influencé par les courants induits de la bobine, c'est-à-dire soit concentré sur celle-ci, et à ce qu'elles affectent le plus grand nombre possible des molécules de la plaque.

En étudiant la répartition des lignes de force, M. Colson a trouvé que la meilleure disposition permettant de réaliser les conditions énoncées consiste à placer la plaque vibrante entre les branches d'un aimant en fer à cheval dont un pôle agit au centre de la plaque par l'intermédiaire d'un noyau en fer doux qui porte la bobine, tandis que l'autre pôle est fixé à un anneau en fer doux influençant les bords de la plaque au travers d'un anneau en substance non magnétique; le noyau central est relié au pôle correspondant de l'aimant au moyen d'un pas de vis qui sert au réglage. La plaque est ainsi polarisée du centre à la circonférence, et présente, au centre et sur les bords, deux pôles de noms contraires; les lignes de force sont concentrées sur la bobine et sur toute la masse de la plaque.

Cet appareil, construit par M. de Branville, donne de très bons résultats; il produit des sons intenses et remarquablement nets; il est probable que cette dernière qualité est due à la disposition centrale du pôle qui porte la bobine, et à l'action des lignes de force sur l'ensemble des molécules de la plaque.

MM. MALLARD et LE CHATELIER ont étudié le dimorphisme de l'iodure

d'argent. Ce corps présente à la température ordinaire la symétrie hexagonale et aux températures élevées la symétrie cubique. On observe cette transformation en regardant au microscope polarisant une lame mince que l'on chauffe progressivement; ce corps éprouve en même temps un changement de couleur, un changement de volume et un changement dans sa chaleur interne. Le point exact de transformation a été déterminé par la méthode d'échauffement en observant le point de température stationnaire qui s'est trouvé à 138°. La chaleur latente absorbée à cette température a été de 6°,8 pour 1^{gr}. Le changement de volume à cette même température, déterminée par la méthode du thermomètre à poids, a été trouvé de 11 pour 100. Sous l'influence de la pression le point de transformation se déplace comme le fait celui de fusion de la glace. Il s'est abaissé jusqu'à la température ordinaire pour une pression de 3000^{kg} par centimètre carré.

M. D'ARSONVAL s'est servi de la polarisation voltaïque :

1° Pour la mesure des différences de potentiel aux bornes d'une machine ou d'une lampe;

2° Pour supprimer l'étincelle d'extra-courant;

3° Pour séparer les courants télégraphiques d'avec les courants téléphoniques ou alternatifs.

Pour arriver au premier résultat, M. d'Arsonval constitue des voltamètres composés de petits vases isolants remplis d'eau acidulée et reliés entre eux en série par des fils de plomb courbés en U. On intercale entre les bornes de la machine des voltamètres en nombre juste suffisant pour que le courant ne passe pas. A ce moment la force électromotrice de polarisation équilibre la force électromotrice aux bornes de la machine. La première étant connue, on en déduit la seconde.

Pour supprimer l'étincelle d'extra-courant on opère de même. La résistance intérieure des voltamètres peut être rendue aussi faible qu'on le désire en augmentant la surface de l'U en plomb. On peut également constituer une sorte de pile à auges dont les séparations sont faites par des lames de plomb.

Dans ses conditions le courant direct ne peut passer, mais l'extra-courant, qui a beaucoup plus de tension, passe sans difficultés au moment de la rupture du circuit.

Pour atteindre le troisième but, M. d'Arsonval établit sur la ligne télégraphique une dérivation à la terre par une batterie de polarisation et un téléphone à chaque bout de la ligne.

On prend une batterie dont la force de polarisation soit supérieure à la force électromotrice de la pile télégraphique.

Le courant de cette pile ne peut franchir la dérivation, tandis que le courant téléphonique qui est alternatif la franchit aisément.

Cette dérivation en cas d'orage fait également l'office de paratonnerre.

M. ÉMILE REYNIER rappelle qu'il a déjà employé des batteries de voltamètres pour assurer l'indépendance de plusieurs lampes à incandescence à

l'air libre assemblées en tension, et pour supprimer les étincelles d'extra-courant, qui produisent sur les contacts métalliques des aspérités nuisibles au passage du courant et à la progression du charbon.

M. Reynier cite l'installation de dix lampes fonctionnant en tension à la blanchisserie Duchenne-Fournet. Les dix *allumeurs* automatiques primitivement employés pour assurer l'indépendance des lampes furent remplacés en 1881 par dix petites séries de trois voltamètres à lames de plomb, respectivement reliées aux bornes de chaque lampe.

Les lampes expérimentées publiquement à Nantua furent garanties par le même moyen, fait rapporté par *la Nature* (24 mars 1883) et par *l'Électricien* (15 mai 1883). Les voltamètres de Nantua étaient à grande surface; du sulfate de zinc fut ajouté à leur eau acidulée. Les voltamètres plomb-zinc peu résistants sont avantageux : 1° leur force électromotrice plus élevée permet de diminuer leur nombre; 2° les variations de la force électromotrice y sont plus étroitement limitées que dans les voltamètres plomb-plomb, surtout quand ces derniers ont une trop faible surface.

Sans exagérer l'importance de ces expériences, M. Reynier les rappelle afin d'éviter toute réclamation dans l'emploi qu'il veut faire des voltamètres pour individualiser et protéger les lampes à incandescence à l'air libre, quand il reprendra l'étude de ce procédé d'éclairage.

M. P. Barbier présente à la Société un nouveau téléphone et un nouveau microphone de M. le Dr Ochorowicz. Le téléphone est une modification de l'appareil de Bell; l'aimant a la forme d'un tube fendu, il est extrêmement puissant; les deux pôles portent deux bobines au-dessus desquelles vibre une plaque en fer-blanc montée sur une boîte dont le fond est lui-même une plaque vibrante en fer fixée par son centre et d'une manière rigide entre les deux pôles de l'aimant. A cet effet un tube de laiton entoure l'aimant dans la partie médiane; c'est sur ce tube qu'est fixée la seconde plaque. Les deux plaques sont polarisées dans le même sens; quand l'une s'approche d'une des extrémités d'une bobine, l'autre s'éloigne de l'autre extrémité sous l'influence du même effort : il en résulte une concordance parfaite des deux actions. M. P. Barbier fait entendre le téléphone comme récepteur d'un appareil identique placé dans une pièce éloignée. La parole et le chant sont entendus par tout l'auditoire, mais l'articulation n'est nette qu'à quelques pas du récepteur.

Le nouveau transmetteur est à courant direct, il fonctionne avec 10 éléments Callaud ou quatre petits accumulateurs. La masse microphonique est considérable et les contacts qui amènent le courant très petits. La plaque vibrante est en mica. M. Ochorowicz se réserve de présenter en détail ce nouvel appareil quand il en aura terminé l'étude.

La parole, le chant et la musique sont entendus à très haute voix et très distinctement par tout l'auditoire.

Sur le dimorphisme de l'iodure d'argent;

par MM. Mallard et Le Chatelier.

On sait que l'iodure d'argent, porté à une température assez élevée, est rouge sombre, tandis qu'il est jaune clair à la température ordinaire. Dans un Mémoire qui date déjà de plusieurs années, M. Wernicke (1) avait annoncé que, lorsqu'on observe sous le microscope une lame d'iodure en voie de refroidissement, on voit la variation de teinte se faire progressivement jusqu'à la température de 138° ou 138°,5 où intervient un changement brusque qui porte la couleur du jaune intense au blanc jaunâtre. Le réchauffement de la lame amène, à la même température, le même changement de teinte en sens inverse.

Nous avons pensé que ce phénomène devait être l'indice d'un changement d'état cristallin semblable à celui que l'un de nous a découvert dans la boracite et le sulfate de potasse et qu'il devait correspondre au passage de la forme hexagonale à la forme cubique que, d'après M. O. Lehmann (2), prend l'iodure d'argent au moment de sa solidification.

Nous avons constaté en effet que l'iodure d'argent, qui est hexagonal et très énergiquement biréfringent à la température ordinaire, devient subitement uniréfringent à une température déterminée, pour redevenir biréfringent, lorsque, par refroidissement, il a pris une température inférieure à cette température de passage. L'iodure est donc hexagonal au-dessous d'une certaine température, cubique au-dessus.

Le phénomène peut être facilement observé soit sur une goutte d'iodure fondu, soit sur une lame d'iodure taillée suivant une direction quelconque oblique à l'axe principal.

Nous avons trouvé pour cette température de passage 146° environ, chiffre un peu plus élevé que celui qui avait été déterminé par M. Wernicke par l'observation du changement de couleur.

---

(1) *Pogg. Ann.*, CXLII, 560; 1871.
(2) Groth, *Zeit.*, I, 492; 1877.

Le passage de l'état hexagonal à l'état cubique est accompagné d'une absorption de chaleur, comme on le constate aisément en suivant la marche de l'échauffement ou celle du refroidissement d'un thermomètre plongé dans de l'iodure en menus fragments.

Nous avons mesuré la chaleur absorbée par le changement d'état en étudiant la loi de variations de la chaleur spécifique de l'iodure dans le voisinage du changement d'état.

Voici les résultats de nos observations :

		Cal
Chaleur spécifique moyenne entre	20° et 127°.....	0,059 (1)
» »	154° et 347°.....	0,055
Quantité de chaleur absorbée de	20°,1 à 127°.....	6,35
» »	20°,1 à 153°,6	14,74

On déduit de ces nombres que la chaleur absorbée pour passer de l'état hexagonal à l'état cubique est égale à 6^{cal}, 8 pour 1^{gr}, soit. pour un poids de 224^{gr},8 correspondant à celui de la molécule, 1600 petites calories ou 1,6 grandes calories.

Cette transformation réversible s'accompagne en outre comme l'a reconnu M. Rodwell (2) d'une contraction qui, d'après ce savant, serait de 0,0157 par unité de volume.

Le phénomène est donc analogue au changement de la glace à 0, qui s'accompagne d'une absorption de chaleur et d'une contraction de volume. On en conclut qu'un accroissement de pression doit abaisser la température de la transformation de l'iodure comme il abaisse le point de fusion de la glace, et que même sous une pression suffisante, cette transformation doit pouvoir se produire à la température ordinaire.

Nous avons vérifié l'exactitude de cette conclusion en profitant d'un appareil combiné par l'un de nous pour étudier la résistance à l'écrasement des ciments. Dans cet appareil une presse à vis permet d'exercer une pression considérable sur un corps contenu dans un petit cylindre en acier de faible diamètre. Ce cylindre est

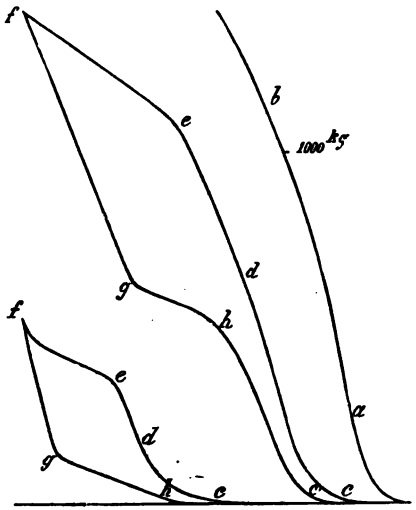
---

(1) Regnault a trouvé cette chaleur spécifique moyenne égale à 0,0616. La différence relative, qui est de $\frac{1}{30}$, est de l'ordre de nos erreurs d'observation. La grandeur de ces erreurs est due au faible poids de matière que la disposition de notre appareil nous forçait d'employer.

(2) *Proceed. Roy. Soc.*, 25-284 (1876-77).

posé sur un large plateau d'un manomètre Thomasset, qui transmet la pression très réduite à une masse liquide emprisonnée. L'eau communique avec un manomètre Bourdon à tube elliptique tordu en hélice, du genre de celui que nous avons utilisé dans nos recherches sur les températures de combustion. La pression exercée sur l'eau est enregistrée, par un style fixé au manomètre, sur une feuille de papier portée par un cadre mobile dans une glissière verticale. La glissière est mue par un cordon enroulé sur la circonférence de la vis comprimante, de sorte que la course du papier

Fig. 1.



est proportionnelle, dans un rapport considérablement accru, à l'abaissement du piston.

Si l'on tourne la vis, sans mettre dans le petit cylindre aucun corps étranger, le piston vient presser sur la platine et l'on exerce une pression graduellement croissante, en même temps que la vis s'abaisse en vertu de la compressibilité des pièces de l'appareil. Le style du manomètre trace alors sur le papier une ligne *ab* (*fig.* 1) (1) sensiblement droite, inclinée sur la verticale, dont les

(1) La figure montre, fidèlement représentée, la courbe tracée par le style dans une expérience faite sur un petit cylindre d'iodure qui avait environ 4^{mm} de hauteur.

ordonnées de l'horizontale comptées à partir du point de départ sont proportionnelles à l'abaissement de la vis, et les ordonnées comptées à partir de la verticale de l'origine sont sensiblement proportionnelles à la pression. En comparant avec un manomètre à mercure, on peut savoir à quelle pression correspond une abscisse de longueur donnée.

Si l'on introduit dans le cylindre une certaine quantité d'iodure d'argent, et si l'on comprime, le style trace d'abord une ligne *cd* (*fig.* 1) d'une inclinaison régulière et sensiblement parallèle à *ab* si l'on élimine la période initiale viciée par le tassement des pièces. Lorsque la pression est assez élevée, la transformation de l'iodure se produit, le cylindre d'iodure se contracte, et la vis peut s'abaisser sans que la pression augmente, ou plutôt, pour un abaissement donné de la vis, l'augmentation de pression est beaucoup plus faible qu'elle ne l'était auparavant; la courbe *de* tracée par le style se rapproche donc de la verticale. Au bout d'un certain temps la transformation est complète et le style se rapproche, en *ef*, de sa marche normale.

Lorsqu'on décomprime en faisant tourner lentement la vis en sens inverse, le phénomène inverse se produit. Le style décrit alors la ligne *fghc'*, dans laquelle *gh* correspond à la période de transformation. Le style vient rencontrer la verticale du point du départ en un point *c'* peu différent de *c*. La très petite différence provient des temps perdus de l'appareil.

Les pressions enregistrées au moment de la transformation sont très différentes pendant la compression et la décompression; on peut attribuer cet écart à l'influence du frottement, qui vient s'ajouter ou se retrancher de la pression réellement supportée par l'iodure. Celle-ci doit donc peu différer de la moyenne des pressions enregistrées. Voici les résultats, très concordants du reste, d'une expérience à l'autre, obtenus avec des cylindres de 3^{mm} et de 6^{mm} de diamètre.

---

(1) La courbe tracée par le style peut facilement être projetée pendant l'expérience même. On pourrait s'en servir dans les cours publics, pour démontrer la relation qui lie à la pression les changements d'état des corps.

	Pressions.	
	3mm.	6mm.
	kg	kg
Transformation à la compression.....	4750	4000
» à la décompression.....	1380	2280
Moyenne.....	3060	3180

L'augmentation de diamètre diminue considérablement l'écart des deux pressions sans changer leur moyenne d'une façon notable.

Notre appareil ne nous permettait pas d'opérer sur des diamètres plus forts, mais nous avons pu le faire avec la machine d'essai des ateliers du chemin de fer de Lyon que M. Henry, ingénieur en chef du matériel, a bien voulu mettre à notre disposition. Les expériences que nous avons faites avec le concours de M. Niel, ingénieur chargé du service des essais, ont porté sur des cylindres de 15mm de diamètre. Les nombres obtenus ont été les suivants :

	kg
Transformation à la compression.....	4000
» à la décompression.....	2000
Moyenne.....	3000

La pression moyenne est donc restée la même; mais, contrairement à ce que nous avions espéré, l'écart des pressions extrêmes ne s'est pas trouvé réduit.

L'iodure d'argent à la température de 20° possède donc la symétrie cubique sous la pression de 3000kg par centimètre carré et sous toutes les pressions supérieures, tandis qu'à la même température et sous toutes les pressions inférieures, il a la symétrie hexagonale.

On peut aisément apprécier, avec quelque exactitude, la variation de volume qui accompagne la transformation sous cette pression et à cette température. Il suffit de mesurer sur le diagramme la distance verticale comprise entre les deux points de la courbe du style qui correspondent au commencement et à la fin du phénomène. Cette longueur est dans un rapport déterminé avec la variation de la hauteur du cylindre d'iodure. On mesure ensuite cette hauteur, augmentée dans le même rapport, et enregistrée par le même appareil sur un diagramme spécial, en posant le cylindre sur la platine de l'appareil et mettant successivement la partie inté-

rieure de la tige de la vis en contact avec la base supérieure du cylindre et avec la platine.

Nous avons trouvé ainsi que la contraction de l'unité de volume est égale à 0,16, à $\frac{1}{40}$ près de la valeur.

Cette contraction est près de dix fois plus considérable que celle qui accompagnerait, d'après M. Rodwell, la transformation de l'iodure à 146° et sous la pression atmosphérique.

Ce savant, il est vrai, s'est contenté de déterminer la dilatation linéaire d'une barre d'iodure d'argent et en a déduit par le calcul la dilatation cubique, mode de procéder qui n'est applicable qu'aux solides restant semblables à eux-mêmes pendant leur dilatation. Cette condition n'est pas remplie par l'iodure d'argent qui se fendille dans tous les sens au moment de sa transformation et doit par conséquent éprouver des allongements inégaux suivant les directions d'inégale résistance.

Nous avons cherché à apprécier la grandeur de cette contraction à 146°, en suivant les variations, avec la température, de la colonne d'un thermomètre dans la boule duquel était introduit un cylindre d'iodure. Nous avons mesuré ainsi une contraction égale à 0,11 environ. Ce nombre, qui n'est certainement pas rigoureusement exact, mais qui doit s'approcher de la vérité, est du même ordre de grandeur que celui que nous avons trouvé à 20°.

L'ensemble de ces expériences montre l'analogie complète que présentent les phénomènes de dimorphisme avec les phénomènes physiques du changement d'état (fusion de la glace) et les phénomènes chimiques d'équilibre dans les systèmes hétérogènes (dissociation de CaO, CO^2). Comme eux, ils sont rigoureusement réversibles; ils présentent une température de transformation rigoureusement définie à pression constante, et une pression de transformation également définie à température constante; enfin le sens de cette transformation est toujours tel que, si elle se produisait seule, elle amènerait une compensation au moins partielle de l'effet que tend à produire la cause extérieure qui provoque cette transformation, c'est-à-dire qu'une élévation de température produit un phénomène tendant à amener un abaissement de température (chaleur latente négative), qu'une élévation de pression produit un phénomène tendant à amener une diminution de pression (contraction).

Les phénomènes de dimorphisme suivent donc, d'une façon complète, la loi générale des équilibres, formulée par l'un de nous.

Quelques cas de dimorphisme semblent à première vue s'écarter des lois précédentes, ne pas être rigoureusement réversibles, ne pas présenter des points de transformation bien définis, le soufre, l'iodure de mercure, le phosphore, l'oxyde de fer, etc. Les expériences de M. Gernez et celles de M. Reicher ont montré que pour le soufre il n'y a aucune exception. Sous la pression atmosphérique la température de transformation du soufre est parfaitement définie et égale à 95°,6. La seule différence que présente ce corps, et probablement les autres qui viennent d'être énumérés, est que leurs transformations réciproques ne sont pas instantanées, qu'ils peuvent subsister longtemps, parfois même indéfiniment, dans un état d'équilibre instable, fait qui se présente continuellement dans les équilibres chimiques, les changements d'état, et établit, par conséquent, une analogie de plus entre ces trois ordres de phénomènes.

SÉANCE DU 6 MARS 1885.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 février est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. Rechniewski, Ingénieur à Paris.

M. le Président rappelle que, suivant l'usage, deux séances seront consacrées, pendant la semaine de Pâques, à la répétition des principales expériences présentées à la Société dans le cours de l'année et que ces deux séances auront lieu, dans le local ordinaire, les mardi 7 et mercredi 8 avril.

M. Pellat a reconnu, par des expériences faites à l'intérieur d'une pièce, qu'un appareil à écoulement d'eau relié à un électromètre à quadrants ne prend qu'assez lentement le potentiel de la couche d'air où se produit l'écoulement. La combustion de mèches en papier imprégné d'azotate de plomb est un moyen encore moins rapide. En outre, ces mèches présentent l'inconvénient de donner naissance en brûlant à une force électromotrice

irrégulière, pouvant varier de plusieurs volts et même de plusieurs dizaines de volts dans le cours d'une même combustion. Ce défaut doit en faire rejeter l'emploi.

M. Pellat a reconnu qu'une courte flamme de gaz, brûlant à l'extrémité d'un bec métallique isolé et relié à l'électromètre, prend presque instantanément le potentiel de l'air augmenté d'une constante assez faible, qui est la force électromotrice de combustion.

Pour étudier ces forces électromotrices de combustion régulièrement, M. Pellat a fait brûler la flamme à l'intérieur d'un vaste cylindre métallique (*inducteur*). L'appareil ainsi constitué se comporte exactement comme un élément de pile dont les pôles sont deux métaux de même nature soudés l'un au bec, l'autre à l'inducteur. La force électromotrice est constante pour un même élément; elle dépend : 1° de la nature du bec; 2° de la nature de la surface interne de l'inducteur; 3° de la nature du gaz qui brûle : le pôle relié au bec est le pôle positif. Les forces électromotrices sont comprises entre 0 et 2 volts.

La résistance de ces éléments a été mesurée par la durée de charge d'une bouteille de Leyde : cette résistance diminue avec le diamètre de l'inducteur; elle est de l'ordre des 100 000 mégohms.

On voit qu'une chaîne composée de métaux, de gaz incandescents et de gaz froids n'obéit pas à la série des tensions de Volta.

M. Cornu expose la méthode géométrique qui donne la forme de la surface de l'onde dans un milieu isotrope placé au sein d'un champ magnétique uniforme : elle est fondée sur les lois expérimentales de Verdet et de M. Cornu. La surface d'onde, primitivement sphérique lorsque l'intensité magnétique est nulle, se dédouble en deux sphères dont les rayons sont égaux au rayon de la sphère primitive : les centres de ces deux sphères sont situés symétriquement de part et d'autre du centre primitif dans la direction des lignes de force et leur distance est proportionnelle au produit de la constante électro-optique du milieu par l'intensité du champ magnétique.

L'une de ces sphères correspond à la propagation des ondes à vibration circulaire droite, l'autre à celle des ondes à vibration circulaire gauche, conformément à la théorie de la polarisation rotatoire donnée par Fresnel.

Les deux nappes de cette surface se coupent donc suivant un cercle, ce qui fournit un certain nombre de propriétés analogues à celles des cristaux à deux axes optiques. La conséquence la plus curieuse est l'existence d'une double réfraction particulière dans la direction normale aux lignes de force, c'est-à-dire dans une direction où l'action électro-optique paraît nulle. Cette double réfraction est très faible, mais on démontre numériquement qu'il n'est pas impossible de la mettre en évidence en employant des appareils assez grands et assez puissants.

M. Lippmann présente quelques observations sur l'entretien électrique du diapason. Les dispositifs électromagnétiques employés pour cet usage doivent toute leur efficacité à l'extra-courant.

En effet, ces dispositifs ferment le courant pendant que la branche du diapason s'éloigne de l'électro-aimant. L'attraction exercée par l'électro-aimant agit donc successivement comme force retardatrice puis comme force accélératrice, et les travaux ainsi successivement développés sont de signes contraires. Ils sont rigoureusement égaux, si l'on fait abstraction de l'extra-courant. L'extra-courant intervient en réalité de manière à diminuer le travail pendant la première phase, et à l'accroître pendant la seconde.

Cette remarque théorique avait déjà été faite par Dvorak et lord Rayleigh. M. Lippmann y a ajouté une expérience : il a construit un interrupteur tel que le courant n'est fermé que pendant que la branche du diapason se rapproche de l'électro-aimant; cet interrupteur fonctionne aussi bien que celui de M. Mercadier. Il en résulte que la durée de l'extra-courant était plus grande pour l'électro-aimant employé que celle d'une oscillation simple du diapason ($\frac{1}{200}$ de seconde). M. Lippmann compare le dispositif habituel, irrationnel au premier abord, au décalage des balais dans les moteurs électromagnétiques à grande vitesse.

M. Gréhant présente à la Société un appareil de MM. *Regnault et Reiset*, construit par M. *Golaz* et qui est destiné à M. Chapman, professeur de Physiologie à Philadelphie.

Il n'est pas nécessaire de rappeler ici les résultats si importants qui ont été obtenus à l'aide de cet appareil par les illustres expérimentateurs qui l'ont inventé (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XXVI, 1849). Le grand avantage qu'il présente, c'est qu'il permet de faire respirer un animal dans un volume limité, d'absorber l'acide carbonique formé dans la respiration, et de remplacer par de l'oxygène pur l'oxygène consommé par l'animal; de là trois parties distinctes dans l'appareil :

1° Une cloche de verre de 45^{lit} environ, mastiquée sur un disque en fonte muni de deux rainures, présente à sa partie inférieure une ouverture par laquelle on introduit l'animal et qui se ferme à l'aide d'un couvercle boulonné, et à sa partie supérieure une tubulure qui est traversée par quatre tubes.

Dans l'appareil primitif la cloche était enveloppée d'un manchon cylindrique de verre dont le soufflage était très difficile et qui se cassait souvent; M. Golaz l'a remplacé avantageusement par un bâti de forme cubique formé de cadres métalliques et de glaces assujetties à l'aide de tubes de caoutchouc soudés en forme de carrés et au moyen d'un grand nombre de vis; cette cuve de glace doit être remplie d'eau.

2° L'appareil qui sert à l'absorption de l'acide carbonique est formé de pipettes qui peuvent être mises en mouvement alternatif d'élévation et d'abaissement à l'aide d'un balancier, d'une bielle artificielle et d'une poulie que l'on fait tourner à l'aide d'un poids ou avec un moteur quelconque. Les pipettes reçoivent une solution de potasse dont on détermine la composition et le poids avant et après l'expérience.

3° Pour renouveler l'oxygène, on emploie plusieurs ballons de 20^{lit} de capacité environ qui portent deux traits, l'un supérieur, l'autre inférieur,

comprenant un volume exactement déterminé par le jaugeage; l'oxygène est déplacé des ballons qui le contiennent par l'écoulement d'une solution de chlorure de calcium qui provient d'un réservoir à niveau constant.

On mesure la pression de l'air contenu dans la cloche avec un petit manomètre à mercure et, à l'aide d'un manomètre à air libre de Regnault, on peut puiser dans la cloche un volume déterminé d'air pour le soumettre à l'analyse.

Force électromotrice de combustion. — Étude des moyens employés pour prendre le potentiel de l'air; par M. H. Pellat.

Pour déterminer le potentiel d'une masse d'air, on se sert souvent d'un corps en ignition relié à l'électromètre. On admet que cet instrument se met, au bout de quelques instants, au même potentiel que la couche d'air dans laquelle se produit la combustion.

Nous avons voulu voir s'il en était bien ainsi, et nous avons étudié d'abord, à ce point de vue, les mèches en papier à filtre (papier Berzelius), imprégnées d'azotate de plomb, qui sont très employées pour les électromètres portatifs. Ces mèches étaient enfilées sur une tige de laiton pointue, isolée et reliée à l'aiguille d'un électromètre dont les quadrants étaient portés à des potentiels égaux et de signes contraires. La combustion se faisait à l'intérieur d'une pièce dont l'air n'était pas électrisé.

Nous avons reconnu ainsi que l'aiguille, loin de se mettre au potentiel de l'air, sensiblement le même que celui des murs de la salle, prend un excès de potentiel de plusieurs volts : *il y a une force électromotrice due à la combustion.*

Cette force électromotrice est du reste variable d'une façon très irrégulière au cours d'une même combustion. En particulier, quand la partie incandescente descend au-dessous de la pointe de la tige de laiton et forme une couronne autour d'elle, le potentiel de l'aiguille peut être supérieur de plus de 100 volts à celui de l'air ambiant.

On voit à quelles graves erreurs on s'expose en employant ces mèches; leur usage doit être abandonné dans toutes les recherches précises sur l'électricité atmosphérique.

Ces expériences nous ont amené à essayer, comme prise de potentiel, une flamme de gaz brûlant à l'extrémité d'un bec métallique isolé et relié à l'aiguille de l'électromètre. Contrairement à ce qui a lieu dans la combustion des mèches de papier, l'aiguille de l'électromètre prend rapidement une position fixe.

Pour voir si l'aiguille obéit bien à une brusque variation du potentiel de l'air entourant la flamme, nous avons disposé à quelque distance de celle-ci une feuille de carton de 1^{mq} environ, recouverte de papier d'étain et suspendue verticalement par des cordons de soie ; à l'aide d'un commutateur, on pouvait mettre cette feuille métallique, soit en communication avec les conduites de gaz de la pièce, soit en communication avec le pôle positif d'une pile de 100 éléments Volta, dont le pôle négatif communiquait avec les conduites de gaz. En faisant varier ainsi le potentiel de la feuille métallique, on faisait varier le potentiel de l'air entourant la flamme. Or, à chaque changement du commutateur, l'aiguille passait dans un temps très court de son ancienne position d'équilibre à sa nouvelle position et restait fixe : ces prises de potentiel à flamme obéissent rapidement aux variations du potentiel de l'air.

Nous avons étudié alors les forces électromotrices auxquelles nous pensions que la combustion du gaz pouvait donner naissance. Pour faire cette étude dans des conditions bien définies, le bec a été placé à l'intérieur d'un grand cylindre creux en métal, fermé en haut par une plaque de même métal ne laissant que les ouvertures nécessaires pour le tirage. Nous appellerons cette enveloppe cylindrique l'*inducteur*. Voici les résultats.

L'appareil que nous venons de décrire se comporte exactement comme un élément de pile. Si l'on soude à l'inducteur et au bec métallique deux fils d'un même métal, qui seront les deux pôles de l'élément, on constate entre eux une différence de potentiel constante, dans l'état d'équilibre électrique, et qui se rétablit rapidement dès qu'on vient à l'altérer : c'est la force électromotrice de l'élément.

Ces éléments peuvent se mettre en opposition ou en tension avec une pile quelconque, tout comme un élément hydro-électrique. Leur force électromotrice se mesure aisément par l'électromètre ; elle dépend : 1° de la nature du gaz qui brûle; 2° de la nature du

métal qui constitue le bec; 3° de la nature de la surface interne de l'inducteur. Elle est indépendante de la dimension de l'inducteur et de la hauteur de la flamme, pourvu que celle-ci ne dépasse pas $0^m,01$; quand la flamme est grande, le phénomène devient irrégulier, par suite probablement de la mauvaise conductibilité de la flamme. Voici les nombres trouvés pour quelques éléments (¹):

					volt
Gaz hydrogène,	bec en	laiton,	inducteur en	cuivre.....	0,30
»	»	laiton,	»	zinc.....	0,88
»	»	zinc,	»	cuivre.....	0,09
»	»	platine,	»	cuivre.....	0,45
»	»	platine,	»	platine.....	0,10
Gaz d'éclairage,	»	platine,	»	platine.....	0,94
»	»	platine,	»	cuivre.	1,72
»	»	zinc,	»	zinc.....	1,15

Le pôle positif est au bec, le pôle négatif à l'inducteur; dans tous les cas, le gaz d'éclairage a donné des forces électromotrices beaucoup plus grandes que l'hydrogène.

Nous ne croyons pas que ces forces électromotrices de combustion aient été déjà étudiées ni même signalées nettement.

La résistance de pareils éléments est énorme, bien évidemment; elle a été mesurée par la durée de la charge d'une bouteille de Leyde, de capacité connue. L'armature intérieure était réunie au

---

(¹) Il est bien évident que la moindre altération de la surface interne de l'inducteur ou de la surface du bec doit modifier la force électromotrice, comme les altérations de la surface des électrodes modifient la force électromotrice d'un élément hydro-électrique. La difficulté d'avoir des surfaces métalliques bien nettes, malgré le soin apporté au nettoyage de ces surfaces, ne nous permet de présenter ces nombres que comme une première approximation. Nous avons tenu plus à montrer la régularité du phénomène qu'à chercher la valeur exacte de la force électromotrice dans le cas de métaux d'une netteté irréprochable.

Ce qui rend difficile la recherche de la valeur de la force électromotrice avec des métaux parfaitement nets, c'est que ceux-ci s'altèrent peu à peu pendant la combustion, ce qui est indiqué par une variation régulière des nombres. Cette variation de la force électromotrice était peu accusée avec le gaz d'éclairage, et presque nulle, même pour des becs et des inducteurs en platine. Elle était beaucoup plus notable dans le cas du gaz hydrogène. Ce gaz était préparé par le zinc et l'acide chlorhydrique et, malgré la précaution de le faire passer sur de la potasse, sur de la poudre imbibée d'azotate de plomb, sur de la potasse imbibée d'azotate d'argent et de nouveau sur de la potasse, il gardait encore une légère odeur, due à l'hydrogène arsénié.

bec et à l'aiguille de l'électromètre, l'armature extérieure à l'inducteur; on réunissait d'abord les deux armatures, puis on les isolait et l'on notait toutes les trente secondes la position de l'aiguille.

Désignons, au temps t, après l'isolement des deux armatures, par V leur différence de potentiel; désignons par E la force électromotrice de l'élément, par R sa résistance et par r celle du verre de la bouteille, qui était du même ordre de grandeur; soit enfin C la capacité de la bouteille de Leyde: cette capacité était très grande vis-à-vis de celle de l'aiguille.

Pendant le temps dt, la charge de chaque armature est augmentée d'une quantité dq donnée par

$$dq = \frac{E - V}{R}\,dt - \frac{V}{r}\,dt; \tag{1}$$

on a d'ailleurs

$$dq = C\,dV, \tag{2}$$

d'où

$$C\frac{dV}{dt} + \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)V - \frac{E}{R} = 0. \tag{3}$$

La fonction qui satisfait à cette équation différentielle est de la forme

$$V = A + Be^{-mt}. \tag{4}$$

On a d'ailleurs $B = -A$, puisque, pour $t = 0$, on a $V = 0$, ce qui donne

$$V = A(1 - e^{-mt}). \tag{5}$$

Par substitution, on trouve, pour l'expression des constantes A et m,

$$\left\{\begin{aligned} m &= \frac{1}{CR}\left(1 + \frac{R}{r}\right), \\ A &= \frac{E}{1 + \frac{R}{r}}. \end{aligned}\right. \tag{6}$$

On tire de là

$$R = \frac{1}{mA}\,\frac{E}{C}. \tag{7}$$

Trois observations équidistantes, donnant les valeurs de V aux temps t, $t+\theta$ et $t+2\theta$, permettent de déterminer m et ensuite de trouver A. Ces valeurs, étant portées dans la formule (5), ont montré que cette formule représentait d'une façon très exacte la loi du phénomène; les nombres calculés coïncident, aux erreurs d'observations près, avec les nombres observés, même en dehors des nombres choisis pour faire le calcul des constantes.

La connaissance de A et de m, jointe à celle de E et de C, fait connaître la valeur de R.

On a trouvé ainsi, pour la résistance de l'élément, pour une flamme de gaz d'éclairage de $0^m,01$ de haut, dans le cas : 1° d'un inducteur en zinc, de $0^m,13$ de diamètre et de $0^m,30$ de haut, environ 115000 mégohms; 2° d'un inducteur aussi en zinc, mais de diamètre et de hauteur moitié moindre, 69000 mégohms : la résistance diminue avec les dimensions de l'inducteur.

L'explication des phénomènes qui se produisent dans ces piles d'un nouveau genre nous paraît assez simple. Tant que les particules gazeuses qui s'échappent de la région conductrice de la flamme ne sont pas au même potentiel que l'air qui les environne, elles se chargent et emportent de l'électricité; le potentiel de la flamme varie par là jusqu'à ce que les gaz, en quittant la flamme, aient le même potentiel que l'air ambiant, et, par conséquent, que la couche d'air qui recouvre la partie interne de l'inducteur.

Si cette explication est exacte, on doit trouver, pour la différence des forces électromotrices correspondant à deux inducteurs de natures différentes dans lesquels brûle le même gaz à l'extrémité du même bec, une valeur égale à celle de la différence de potentiel des couches électriques qui recouvriraient les surfaces internes de ces deux inducteurs si on les mettait en communication métallique. C'est bien en effet ce qui a lieu en gros. Si ces nombres trouvés pour la différence des forces électromotrices ne sont pas identiques à ceux que nous avons obtenus par une autre méthode bien plus précise pour la différence de potentiels apparents de deux métaux au contact [1], cela nous paraît tenir simplement au défaut de netteté de la surface des inducteurs en cuivre ou en zinc qui s'altéraient

---

[1] *Ann. de Chim. et de Phys.*, 5e série, t. XXIV, 1881.

assez rapidement par le fait même de la combustion (*voir* la note de la p. 29).

Tant que la flamme n'est pas au même potentiel que la couche d'air qui couvre l'inducteur, cette couche et la flamme sont chargées d'électricités contraires; les particules gazeuses, en quittant la flamme et emportant son électricité, sont attirées par l'inducteur et le déchargent. Cet écoulement d'électricité, dû à son transport par les particules gazeuses, doit être d'autant plus considérable, que la charge des particules est plus grande et que la force électrique qui les attire est plus considérable ; or, pour une même différence de potentiel entre la flamme et l'inducteur, cette charge et cette force augmentent quand la distance entre la flamme et l'inducteur diminue. Ainsi s'explique la moindre résistance des éléments à petites dimensions.

II. La disposition qui nous a servi à étudier la rapidité avec laquelle une flamme obéit aux variations de potentiel de l'air ambiant nous a servi aussi à faire la même étude pour les appareils à écoulement d'eau. On sait que ces appareils, imaginés par Sir W. Thomson, sont constamment employés dans les observatoires météorologiques.

Nous avons reconnu ainsi que ces appareils mettent un temps assez long à charger l'aiguille de l'électromètre au potentiel de l'air. Ainsi, avec un débit de 8^{lit} d'eau en douze heures, il fallait six minutes pour que l'électromètre accusât les $\frac{8}{10}$ de la variation de potentiel produite; avec un débit de 12^{lit} en douze heures, il fallait cinq minutes pour que l'aiguille accusât la presque totalité de la variation de potentiel.

Du reste, la grosseur des gouttes a évidemment une influence marquée sur la rapidité de l'égalisation de potentiel. Pour une même dépense d'eau, il y a avantage à employer des gouttes fines, car la masse de la goutte varie comme le cube de son rayon et sa capacité électrique comme la première puissance du rayon.

Cette lenteur des appareils à écoulement est un défaut. De brusques variations dans le potentiel de l'air, suivies d'un brusque retour au premier état, doivent passer inaperçues; les maxima et les minima doivent être diminués.

En résumé, une flamme courte brûlant à l'extrémité d'un bec

métallique serait une prise de potentiel bien préférable à un écoulement d'eau. Malheureusement l'emploi d'une flamme est restreint à la détermination du potentiel d'une masse d'air connue; car, en plein air, le vent éteindrait la flamme. Dans ce cas, il faut bien se servir des appareils à écoulement. Or je crois qu'on remédierait beaucoup à la lenteur des indications en multipliant les orifices d'écoulement (en les disposant, par exemple, sur le pourtour d'une couronne), et en réduisant convenablement les orifices pour ne pas augmenter la dépense d'eau.

Il nous paraît nécessaire aussi que les orifices d'écoulement soient notablement au-dessous du fond du réservoir d'eau, pour que la diminution de la hauteur du liquide dans le flacon ne fasse pas trop varier le débit : un vase de Mariotte serait très convenable.

Enfin il ne faut pas oublier que les flammes ou les appareils à écoulement ne donnent le potentiel de l'air qu'à une constante près de l'ordre de grandeur du volt. Cette constante s'élimine si l'on mesure la différence de potentiel de deux couches d'air avec des appareils semblables, mais elle ne s'élimine pas dans d'autres cas.

Sur la forme de la surface de l'onde lumineuse dans un milieu isotrope placé dans un champ magnétique uniforme : existence probable d'une double réfraction particulière dans une direction normale aux lignes de force; par M. A. Cornu.

Un milieu isotrope transparent, placé dans un champ magnétique, acquiert, comme on sait, le pouvoir rotatoire dans le sens des lignes de force. Verdet, dans ses belles recherches, a établi expérimentalement des résultats qu'on peut énoncer ainsi :

La rotation du plan de polarisation est proportionnelle : 1° à l'intensité M *du champ magnétique; 2° au cosinus de l'angle* α *que fait la direction du faisceau lumineux avec les lignes de force du champ.*

Si l'on interprète cette loi suivant la théorie de Fresnel (vérifiée

d'ailleurs par les expériences de plusieurs physiciens), on écrira que les vitesses v', v'' de propagation des ondes planes dont la vibration est circulaire gauche ou circulaire droite sont, à l'ordre d'approximation que comportent les mesures, soumises à la condition suivante

$$v'' - v' = 2kM\cos\alpha,$$

$2k$ étant une constante spécifique du milieu isotrope, dépendant de la longueur d'onde de la radiation observée.

D'autre part, j'ai établi par expérience [1] la loi suivante :

La moyenne des vitesses de propagation des ondes circulaires de sens inverses séparées par l'action magnétique est sensiblement égale à la vitesse commune v de ces ondes quand l'action magnétique est nulle.

D'où la relation

$$v' + v'' = 2v.$$

Ces deux conditions analytiques sont l'expression de deux lois expérimentales : si l'on admet que ces deux lois sont rigoureuses (ce qu'on ne peut guère démontrer que par leurs conséquences), on en conclura les valeurs de v' et v'', c'est-à-dire les vitesses des ondes planes polarisées circulairement dans les deux sens pour toutes les directions de propagation,

$$v' = v - kM\cos\alpha, \quad v'' = v + kM\cos\alpha.$$

Il suffira dès lors d'employer la méthode géométrique de Fresnel pour obtenir, par un simple calcul d'*enveloppes* [2], la surface de l'onde lumineuse dans le milieu soumis à l'action magnétique.

A cet effet, rapportons chaque onde plane à trois axes rectangulaires OX, OY, OZ, l'axe OX étant parallèle aux lignes de force du champ. La surface d'onde cherchée est l'enveloppe d'un plan dont la distance à l'origine est égale à la vitesse de propagation normale.

Si l'on désigne par α, β, γ les angles que forme la normale au

---

(1) *Comptes rendus*, t. XCII, p. 1368.

(2) La loi de Verdet à elle seule ne suffirait pas, quoiqu'on puisse toujours poser $v' + v'' = 2u$; car alors on ne pourrait pas affirmer que u ne dépend pas de α, ce qui rendrait l'élimination impossible.

plan d'onde avec les axes OX, OY, OZ, on aura évidemment, pour l'équation de ces plans,

$$x\cos\alpha + y\cos\beta + z\cos\gamma = v \pm k\mathrm{M}\cos\alpha,$$

qu'on peut écrire

$$(1) \qquad (x \mp k\mathrm{M})\cos\alpha + y\cos\beta + z\cos\gamma = v,$$

avec la condition

$$(2) \qquad \cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1.$$

L'enveloppe du plan s'obtient en différentiant ces deux équations par rapport à $\cos\alpha$, $\cos\beta$, $\cos\gamma$, considérés comme des paramètres variables, et en annulant les coefficients des différentielles indépendantes; il vient évidemment

$$(3) \qquad \frac{x \mp k\mathrm{M}}{\cos\alpha} = \frac{y}{\cos\beta} = \frac{z}{\cos\gamma} = \frac{v}{1},$$

équations du rayon vecteur qui joint l'origine au point de contact. Éliminant $\cos\alpha$, $\cos\beta$, $\cos\gamma$ à l'aide de l'équation (2), on obtient l'équation de la surface de l'onde cherchée

$$(4) \qquad (x \mp k\mathrm{M})^2 + y^2 + z^2 = v^2,$$

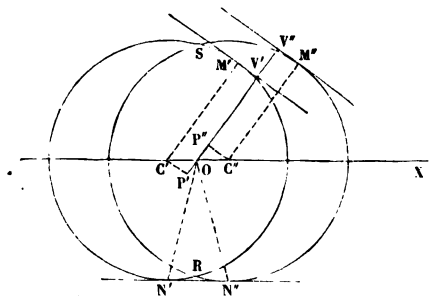
résultat qu'on obtiendrait du reste facilement par la Géométrie pure.

En effet, la surface cherchée est évidemment de révolution autour d'une parallèle aux lignes de forces OX passant par le centre O, origine des ondes : il suffit donc de déterminer la méridienne de cette surface, ce qui ramène à la Géométrie plane. Soit donc V'M' le plan d'onde situé à la distance $\mathrm{OV}' = v'$ de l'origine; le point de contact M' avec la courbe enveloppe s'obtiendra en remarquant que $\mathrm{OV}' = v - k\mathrm{M}\cos\alpha$, l'angle α étant égal à V'OX : prolongeons V'O jusqu'en P', de manière que $\mathrm{P'V'} = v =$ constante, car c'est la vitesse dans le milieu non influencé : alors OP' représente $k\mathrm{M}\cos\alpha$, c'est-à-dire la projection de $k\mathrm{M}$ qui est aussi une constante. Mais $\mathrm{P'OC'} = \alpha$; donc la grandeur constante peut être placée sur le prolongement de OX et par suite le point P' est la projection du point fixe C' tel que $\mathrm{OC'} = k\mathrm{M}$. Complétant le rec-

tangle C′P′V′M′ on a C′M′ = P′V′ = ρ ; donc la droite M′V′ est à une distante constante du point C′ : par conséquent elle enveloppe un cercle. On démontrerait de la même manière que la droite V″M″ enveloppe un cercle dont le centre est C″, symétrique de C′ par rapport au point O.

La surface cherchée est donc un système de deux sphères excentriques, dont l'axe commun est parallèle aux lignes de force du champ magnétique : l'une des sphères correspond aux ondes circulaires *dextrorsum,* l'autre aux ondes circulaires *sinistrorsum.* On en conclut l'énoncé suivant :

Dans un milieu isotrope, placé au sein d'un champ magnétique uniforme, les deux espèces d'ondes à vibrations circulaires



inverses, seules susceptibles d'exister, se propagent suivant des sphères identiques à la sphère d'onde du milieu à l'état naturel, déplacées symétriquement de la même quantité dans la direction des lignes de force.

Ce déplacement magnétique est proportionnel à l'intensité du champ et à la constante électro-optique du milieu.

Il n'est peut-être pas inutile de faire remarquer que le résultat, fondé sur des lois expérimentales, est indépendant de toute théorie moléculaire ou magnétique.

Directions singulières de double réfraction circulaire magnétique. — Cette disposition des deux nappes sphériques de la surface d'onde présente une particularité intéressante : si l'on con-

sidère des ondes planes se propageant perpendiculairement aux lignes de force, on sait, d'après la loi de Verdet, qu'elles présentent la même vitesse de propagation normale, puisque le pouvoir rotatoire est nul dans ces conditions.

Effectivement, deux plans parallèles tangents aux deux sphères coïncident lorsqu'ils sont en même temps parallèles à l'axe commun : mais il en résulte aussi que chaque plan parallèle à l'axe a deux points de contact N′, N″ (*voir* la figure précédente) avec la surface de l'onde, l'un sur la nappe des vibrations circulaires droites, l'autre sur la nappe des vibrations circulaires gauches, et les deux points sont dans un même plan avec l'axe de révolution.

Donc les directions lumineuses efficaces (ce qu'on nomme les *rayons* dans la double réfraction ordinaire) sont séparées d'un angle appréciable, bien que les ondes planes qui leur correspondent cheminent en coïncidence : de là *l'existence probable d'une double réfraction d'un genre particulier dans la direction normale aux lignes de force,* c'est-à-dire dans une direction où l'on a coutume de considérer l'action magnétique sur la lumière comme nulle.

C'est un phénomène qui rappelle celui qu'on observe dans les cristaux à deux axes optiques lorsque l'onde plane devient tangente à la surface d'onde suivant un cercle ; mais il en diffère en ce que les *rayons* correspondant à la même onde plane sont au nombre de deux seulement, tandis qu'ils se résolvent en une nappe conique dans le cas des cristaux.

On peut remarquer aussi l'existence du cercle équatorial RS en chaque point duquel la surface double a deux points tangents : on retrouve l'analogue des points singuliers de la surface de l'onde de Fresnel, et la possibilité de produire des phénomènes rappelant ceux de la réfraction conique aussi bien que ceux de la réfraction cylindrique.

Comme dans les milieux cristallisés jouissant de la double réfraction rectiligne, la direction du *rayon* est en général oblique sur le plan de l'onde : l'expression de l'angle ε que fait la normale à ce plan avec le rayon s'obtient aisément, en éliminant x, y, z dans la formule

$$\cos\varepsilon = \frac{x}{r}\cos\alpha + \frac{y}{r}\cos\beta + \frac{z}{r}\cos\gamma \quad \text{avec} \quad r = \sqrt{x^2+y^2+z^2};$$

à l'aide des équations (3), on trouve

$$(5)\quad \begin{cases} \cos\varepsilon = \dfrac{v \pm kM\cos\alpha}{\sqrt{v^2 \pm 2vkM\cos\alpha}}, \\ \sin\varepsilon = \dfrac{\pm kM\sin\alpha}{\sqrt{v^2 \pm 2vkM\cos\alpha}}, \\ \operatorname{tang}\varepsilon = \dfrac{\pm kM\sin\alpha}{v \pm kM\cos\alpha}. \end{cases}$$

Mais il n'y a pas de parallélisme à établir entre ces deux genres de double réfraction; les comparaisons présentent la symétrie *alterne* particulière aux actions électromagnétiques : ainsi, dans la double réfraction magnétique, suivant l'axe de révolution ($\alpha = 0$), les ondes planes ont des vitesses différentes v', v'', et les rayons correspondants coïncident ($\varepsilon = 0$); normalement à cet axe $\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right)$, c'est l'inverse : les ondes ont la même vitesse v et les rayons des directions différentes $\left(\operatorname{tang}\varepsilon = \pm \frac{kM}{v}\right)$.

J'avais obtenu ces résultats depuis longtemps, mais je me réservais de les faire connaître après avoir examiné s'il était possible de mettre cette double réfraction très singulière en évidence par une expérience directe. Mon attention a été appelée de nouveau sur cette question par une Note récente de M. le Dr Von Fleischl (1) intitulée : *Sur la déformation de la surface d'onde lumineuse dans un champ magnétique.* D'après ce qui précède, on voit qu'il n'y aurait pas *déformation,* mais *dédoublement.*

Il ne m'a pas été jusqu'ici possible de tenter l'expérience, parce qu'elle offre d'assez grandes difficultés provenant de l'extrême petitesse du phénomène; mais ces difficultés ne me paraissent pas insurmontables, eu égard à la puissance des appareils électromagné-

---

(1) *Ueber die Deformation der Lichtwellenfläche im magnetischen Felde* (*Anzeiger der kais. Akademie der Wissenschaften in Wien,* Nr. XIII).

M. le Dr Von Fleischl donne sans démonstration l'équation de la surface

$$\frac{(x^2+y^2)n^2+z^2}{2r^2n^2} \pm \frac{x\sqrt{n^2-1}}{r} + \frac{n^2}{2} = 1.$$

n est une fraction irrationnelle dont la valeur diffère peu de l'unité et représente la mesure d'une déformation homogène que la sphère primitive (de rayon r) subit dans le sens de l'axe des x.

tiques qui se construisent actuellement. Voici, en effet, le calcul des éléments à observer.

Les deux points de contact du plan d'onde avec les sphères ont pour distance $2kM$, ainsi qu'il résulte de l'équation (3). La sphère ayant pour rayon v, on a, pour l'angle 2ε des deux rayons, l'expression

$$\text{(6)} \qquad \operatorname{tang} 2\varepsilon = \frac{2kM}{v},$$

qu'on retrouve d'ailleurs comme cas particulier de (5).

On exprime aisément $2kM$ en fonction de l'angle ω dont tournerait le plan de polarisation d'un rayon traversant une longueur e du milieu suivant les lignes de force magnétique,

$$\text{(7)} \qquad \omega = \frac{\pi e}{\lambda}\left(\frac{V}{v'} - \frac{V}{v''}\right),$$

V étant la vitesse de la lumière dans l'air et λ la longueur d'onde de la radiation également dans l'air.

Remplaçant dans cette expression le produit $v'v''$ par v^2 qui lui est sensiblement égal, la différence $v'' - v'$ par $2kM$ (puisque $\alpha = 0$), et V par nv, n étant l'indice de réfraction du milieu, on en déduit

$$\text{(8)} \qquad e \operatorname{tang} 2\varepsilon = \frac{1}{n}\frac{\omega}{\pi}\lambda.$$

Cette valeur de $e \operatorname{tang} 2\varepsilon$ représente le dédoublement linéaire cherché du rayon qui a traversé une épaisseur e du milieu donné dans une direction normale aux lignes de force d'un champ magnétique, l'effet de ce champ magnétique étant de faire tourner d'un angle ω le plan de polarisation lorsque cette épaisseur e est traversée parallèlement aux lignes de force.

On voit que le dédoublement est de l'ordre de la longueur d'onde, car le facteur numérique qui le multiplie peut être rendu égal à l'unité dans des conditions qu'il ne serait pas très difficile de réaliser pratiquement; il suffirait donc de rendre ce facteur environ dix fois plus considérable pour atteindre l'ordre du centième de millimètre, c'est-à-dire d'une dimension suffisante pour constater nettement le dédoublement et la polarisation circulaire inverse des

deux images [1]; un certain nombre d'artifices bien connus dans ce genre de recherches s'offrent naturellement à l'esprit et font penser que l'expérience est réalisable.

Le dédoublement n'est qu'en apparence (8) proportionnel à λ; il est, en réalité, sensiblement en raison inverse de la longueur d'onde, car l'angle ω suit à fort peu près la loi de Biot, c'est-à-dire varie en raison inverse de λ^2.

Ces vérifications auraient un intérêt dont la portée dépasserait évidemment celle des considérations élémentaires qui ont servi à les prévoir.

SÉANCE DU 20 MARS 1885.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 6 mars est lu et adopté.

Est élu Membre de la Société :

M. Reiset, Membre de l'Institut.

M. Emile Reynier résume devant la Société ses recherches sur un phénomène dû aux actions chimiques accomplies dans les accumulateurs. Les électrodes changent de poids et de densité pendant la *formation,* pendant la *charge* et la *décharge;* il en résulte des variations de volume que M. Reynier appelle *foisonnement.*

Le foisonnement cubique absolu des matières actives après les réactions électrochimiques est égal au rapport des poids relatifs multiplié par le rapport inverse des densités; le foisonnement cubique *moyen* s'en déduit aisément quand on connaît la fraction d'électrode intéressée; enfin on obtient le foisonnement linéaire en prenant la racine cubique de l'expansion en volume. L'auteur a calculé ainsi les foisonnements cubiques et linéaires des accumulateurs Planté et des accumulateurs Faure qui en dérivent. Ces expansions sont loin d'être négligeables; elles produisent des effets méca-

---

[1] On doit s'attendre, en observant avec un analyseur, à rencontrer dans les parties communes aux deux faisceaux émergents un système de franges polarisées d'une manière périodique, comme celles obtenues par M. Fizeau avec deux parallélépipèdes de Fresnel (*Annales de Chimie et de Physique,* 3e série, t. LXIII, p. 405).

niques sensibles et des déformations réitérées qui peuvent, dans certains cas, hâter la ruine des électrodes.

D'après M. Emile Reynier, le foisonnement explique pourquoi on n'a pas réussi, jusqu'à présent, à rendre active une fraction plus importante des matières perméables encastrées dans les cellules de l'accumulateur Faure. Ces matières, le peroxyde surtout, ne sont suffisamment conductrices qu'à la condition d'être tassées; la *charge,* qui diminue peu à peu la compression, ne peut donc s'opérer que jusqu'à un certain point. La *décharge* est limitée par un phénomène inverse : la compression qu'elle détermine exprime peu à peu le liquide, véhicule des réactions électrochimiques. Les matières pulvérulentes finissent par devenir sèches, et par conséquent inertes. Ceci est vrai encore pour les accumulateurs formés en plein plomb par le procédé Planté. On peut admettre que les électrodes de ces couples se criblent, par la *formation,* de cellules très petites et très nombreuses, formant des réseaux serrés dont les grillages de M. Faure seraient la représentation grossière.

M. Laurent présente à la Société un appareil pour contrôler les *surfaces courbes*, sphériques ou cylindriques : objectifs, lentilles convergentes ou divergentes, miroirs concaves ou convexes, sphères.

L'appareil se compose d'un bâti vertical, le long duquel glisse une équerre, au moyen d'une chaîne; sa position est indiquée par un vernier, elle porte une plate-forme qui tourne dans un plan horizontal et supporte les pièces optiques à étudier.

Au haut de l'appareil est un oculaire dont le diaphragme est divisé en deux parties : une moitié est recouverte par un prisme éclaireur, la face horizontale est argentée et porte un quadrillé, fait à la machine à diviser.

C'est un objet artificiel que l'on éclaire (à la lumière monochromatique ou ordinaire) et dont on étudie l'image réfléchie; son interprétation indique la valeur des surfaces. L'image et l'objet sont sur le même plan.

Lentilles *convergentes.* On place un plan-type en verre sur le support; quand le plan touche le quadrillé, le vernier marque zéro. On pose la lentille sur le plan, on fait mouvoir le support et, lorsque l'image est nette, le vernier indique la position du plan focal. La lumière traverse deux fois la lentille et les défauts sont doublés; le pointé est très précis, de sorte qu'en cachant avec des écrans telle ou telle partie, on jugera de la *qualité* de la surface par la *netteté* de l'image, et les changements de *courbures* seront indiqués par les différences de *pointé.* Par réfraction, on étudie l'ensemble : surfaces et matière, on peut ensuite examiner chaque surface par réflexion.

Pour les miroirs *concaves,* l'image est nette quand le centre de courbure est dans le plan du diaphragme; on mesure le rayon en faisant monter le miroir jusqu'à ce qu'il touche ce diaphragme.

Lentilles *divergentes.* L'appareil est alors muni d'une rallonge, et le plan-type est placé sur le trépied; au milieu de la hauteur, on adapte un système convergent qui donne sur le plan une image réelle du quadrillé : elle se

réfléchit et revient en haut. On place la lentille divergente sur le support et quand l'image est nette, son plan focal se trouve sur le plan-type. On mesure d'une manière analogue, lorsque la lentille touche le système convergent.

Pour les surfaces *convexes*, l'image est nette lorsque le centre de courbure est sur le plan-type.

Pour les surfaces *cylindriques*, en général, l'image est nette lorsque l'*axe* du cylindre est parallèle à l'un des groupes de droites du quadrillé : on mesure ainsi l'*orientation* de l'axe.

Avec deux lentilles supplémentaires, concave et convexe, on mesure de o à ∞.

M. Laurent donne des explications au moyen de schémas tracés sur le tableau et fait fonctionner l'appareil.

M. Cornu dit qu'il a expérimenté l'appareil de M. Laurent et lui a reconnu de très sérieuses qualités. La mesure des courbures se fait avec une grande facilité et la netteté des images est parfaite.

Cet appareil peut rendre d'utiles services dans les ateliers et dans les laboratoires.

MM. Gréhant et Quinquaud présentent à la Société l'appareil qu'ils ont employé dans le laboratoire de M. le professeur Jamin, à la Sorbonne, pour mesurer la pression qui détermine la rupture des vaisseaux sanguins; ces mesures de pression ont été faites avec un manomètre à air libre de Regnault, dont le tube, long de 10^m, est installé dans l'axe d'un escalier tournant. A la partie supérieure du réservoir d'une pompe à eau, on a fait fixer par M. Golaz un robinet de laiton à trois voies, présentant une branche horizontale sur laquelle on visse un ajutage introduit et fortement fixé dans le bout d'une artère, tandis que le second bout du vaisseau est oblitéré par une tige pleine de laiton.

Afin de répéter l'expérience devant la Société, MM. Gréhant et Quinquaud ont vissé sur la branche oblique du robinet un manomètre métallique de Bourdon dont la graduation a été vérifiée à l'aide du manomètre à air libre. En faisant mouvoir la pompe à eau, on voit qu'une artère carotide de chien se rompt sous la pression de 7^{atm}, tandis que la pression normale du sang dans ce vaisseau est voisine de $0^m,15$ de mercure.

La pression la plus grande qui ait été obtenue chez le chien a été trouvée égale à $11^{atm},2$, pour l'artère carotide.

Chez l'homme, l'artère carotide s'est rompue sous des pressions très variables dépendant de l'état d'intégrité ou de maladie des vaisseaux; les limites extrêmes qui ont été trouvées jusqu'ici sont : $8^{atm},4$ et $2^{atm},4$.

Sur le foisonnement du plomb dans les accumulateurs;

par M. Émile Reynier.

Dans un essai antérieur, j'ai tenté d'élucider la théorie chimique des accumulateurs (1). La détermination des quantités *relatives* de matières à employer dans la construction des couples secondaires est naturellement sortie de cette étude (2). Il reste à examiner une autre conséquence des réactions chimiques observées : je veux parler des *variations de volume* résultant des changements de poids et de densité des électrodes d'accumulateur, pendant la *formation* et pendant la *décharge*.

Considérons, dans leurs états successifs, les deux électrodes d'un accumulateur Planté.

Avant la formation, ces deux lames sont constituées par du plomb métallique compact. Quand l'accumulateur est formé et chargé, son électrode positive a fixé de l'oxygène pour se transformer partiellement en peroxyde de plomb; ce peroxyde, étant à la fois plus lourd et moins dense que le plomb dont il provient, occupe nécessairement un volume plus grand. D'autre part, l'électrode négative, dont le poids n'a pas sensiblement varié, est devenue *poreuse* et par conséquent moins dense aussi : d'où une expansion des deux électrodes.

Quand on décharge l'accumulateur, il y a sur l'une et l'autre plaque formation de sulfate de plomb, plus lourd et moins dense que le peroxyde et que le plomb spongieux : il en résulte une nouvelle augmentation des volumes des plaques.

Si l'on recharge la pile secondaire, l'acide sulfurique se sépare des électrodes qui reviennent, la négative à l'état de plomb spongieux, la positive à l'état de plomb partiellement peroxydé. Leurs poids, leurs densités moyennes et leurs volumes seront ce qu'ils étaient avant la décharge.

Ainsi les *volumes* des plaques de plomb augmentent quand elles

---

(1) *Séances de la Société française de Physique*, 4 avril 1884.

(2) *Piles électriques et accumulateurs*, recherches techniques, J. Michelet, Paris, 1884.

passent à l'état d'électrodes *formées et chargées;* ils augmentent encore pendant la décharge du couple et diminuent pendant la charge, mais sans revenir aux volumes primitifs.

J'appellerai *foisonnement* ces variations de volume, que je vais étudier dans leur principe et dans leurs conséquences.

I. *Coefficients de foisonnement cubique.* — Le rapport entre les volumes avant et après foisonnement est fonction des *poids relatifs* et des *densités.*

On connaît les densités du plomb et de ses composés, tels qu'on les obtient par les procédés chimiques ordinaires.

Densité du plomb ordinaire	11,4
» du peroxyde de plomb (moyenne)	9,4
» du plomb spongieux : 8 à 11, soit en moyenne	8,5 (?)
» du sulfate de plomb	6,2
» du minium (moyenne)	8,8
» de la litharge	9,2

Je supposerai que ces corps ont ces mêmes densités quand ils sont fabriqués électriquement dans l'accumulateur : hypothèse assez rapprochée sans doute de la réalité.

Quant aux *poids relatifs,* ils nous sont donnés par les équivalents chimiques :

1 partie de plomb donne	1,15	partie de peroxyde	
1 » »	1,46	»	de sulfate de plomb
1 » de peroxyde de plomb	1,27	»	» »
1 » de minium	1,047	»	de peroxyde
1 » de litharge	0,928	»	de plomb spongieux

Avec ces données on a calculé les coefficients de foisonnement cubique, rapports entre les volumes de matières solides actives avant et après réaction; ces coefficients sont les produits du rapport des poids par le rapport inverse des densités [1] :

---

[1] En toute rigueur, il faudrait tenir compte de la compressibilité des matières perméables; celle du plomb spongieux doit être sensible.

1 vol. de plomb compact donne ...	1,39	vol.	de peroxyde de plomb
1 » » » ..	1,34	»	de plomb poreux
1 » de peroxyde de plomb donne.	1,93	»	de sulfate de plomb
1 » de plomb poreux.....	2	»	» »
1 » de minium	0,987	»	de peroxyde de plomb
1 » de litharge.....	1	»	de plomb spongieux $d = 8,54$

En étudiant les conséquences pratiques de ces changements de volume des matières solides actives, je distinguerai le foisonnement de formation et le foisonnement de décharge.

II. *Foisonnement de formation.* — La formation consiste à fabriquer des masses conductrices de plomb spongieux et de plomb peroxydé. Si l'on prend comme matière première du plomb métallique compact (formation Planté), le foisonnement du plomb actif est :

A l'électrode positive, peroxydation du plomb compact.....	1,39
A l'électrode négative, expansion en plomb spongieux	1,34

Mais l'expansion moyenne des électrodes est beaucoup moins grande, parce que les matières actives foisonnantes ne sont qu'une partie de l'électrode. Dans le cas où l'on parviendrait, par exemple, à intéresser *un quart* du plomb, le foisonnement moyen serait :

$$\text{Au positif}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad \frac{3 + 1,39}{4} = 1,0975$$

$$\text{Au négatif}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad \frac{3 + 1,34}{4} = 1,085$$

Et, en admettant que le foisonnement fût le même dans les trois dimensions, l'expansion en tous sens (foisonnement linéaire) serait la racine cubique de l'expansion en volume (foisonnement cubique) :

$$\text{Foisonnement linéaire, au positif}\ldots \quad \sqrt[3]{1,0975} = 1,03$$

$$\text{» au négatif}\ldots \quad \sqrt[3]{1,085} = 1,027$$

Mais on n'a pas encore réussi à pousser la formation aussi loin. M. Gaston Planté a obtenu au plus 16 ampères-heures par kilogramme d'électrodes, ce qui correspond à l'utilisation de la huitième partie du métal. Dans ces conditions les expansions de formation

sont :

Foisonnement cubique, au positif ...	$\frac{7+1,39}{8}$	$=1,05$
» au négatif...	$\frac{7+1,34}{8}$	$=1,045$
» linéaire, au positif ...	$\sqrt[3]{1,05}$	$=1,017$
» » au négatif...	$\sqrt[3]{1,045}$	$=1,015$

Ces chiffres montrent que, dans les accumulateurs Planté et dans tous ceux formés par le même procédé, le foisonnement de formation est loin d'être négligeable. Il produit des actions mécaniques sur lesquelles je reviendrai à propos du foisonnement de décharge, dont les effets sont encore plus marqués.

Dans le procédé de formation de M. Faure, on prend pour matières premières le minium au positif et la litharge au négatif : d'un côté le minium donne $0^{vol},987$ de peroxyde de plomb ; de l'autre le protoxyde laisse un volume de plomb réduit dont la densité (calculée) est 8,54. Ces chiffres théoriques, indiquant un foisonnement à peu près nul, ne répondent pas exactement aux faits réels. Dans la pratique on n'opère pas sur du minium et de la litharge compacts ; ces oxydes sont préalablement gâchés dans l'eau acidulée sulfurique avant d'être appliqués sur les plaques ou dans les cellules. Il se forme un peu de sulfate de plomb, qui lie les masses et diminue un peu leurs densités moyennes, leur richesse en plomb. Le foisonnement de formation est donc pour ainsi dire négatif, puisqu'il se produit des volumes non accrus de peroxyde et de plomb réduit de densités un peu inférieures aux densités normales. Aussi les accumulateurs Faure à cloisonnements (ancien dispositif) ou à cellules (dispositif actuel, *fig.* 1) ne donnent-ils pas lieu à des actions mécaniques apparentes par une formation d'emblée.

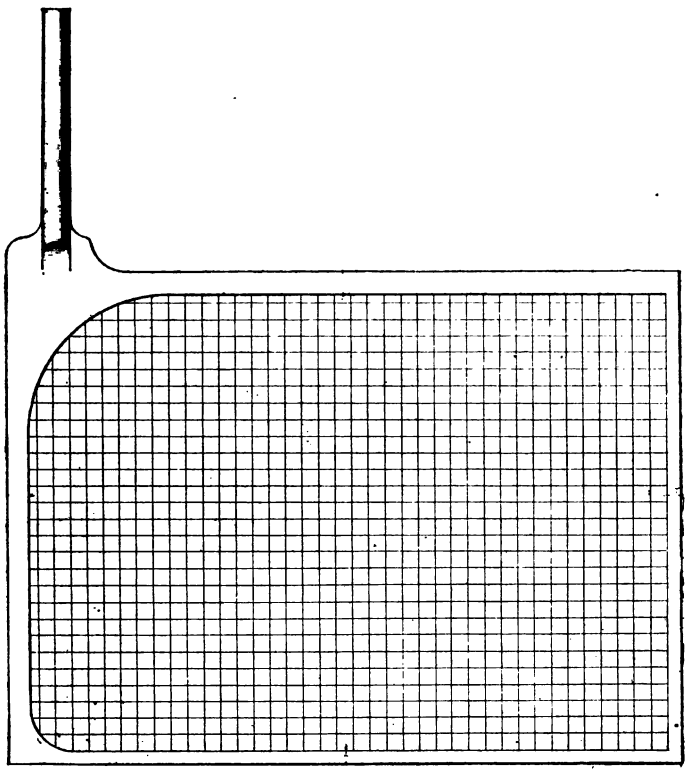
III. *Foisonnement de décharge.* — Les foisonnements cubiques des matières actives pendant la décharge, rapports entre les volumes de sulfate de plomb produits et ceux des matières actives engagées, sont :

Au positif, sulfatation du peroxyde de plomb	1,93
Au négatif, » du plomb spongieux	2

Dans un accumulateur Planté où les électrodes seraient intéressées par *un quart,* les foisonnements moyens seraient :

Foisonnement cubique, au positif...	$\frac{3+1,93}{4}$	$=1,2325$
» » au négatif...	$\frac{3+2}{4}$	$=1,25$
» linéaire, au positif...	$\sqrt[3]{1,2325}$	$=1,072$
» » au négatif...	$\sqrt[3]{1,25}$	$=1,077$

Fig. 1.



Avec la formation *au huitième* obtenue par M. Planté, on a :

Foisonnement cubique, au positif...	$\frac{7+1,93}{8}$	$=1,11625$
» » au négatif...	$\frac{7+2}{8}$	$=1,125$
» linéaire, au positif...	$\sqrt[3]{1,116}$	$=1,037$
» » au négatif...	$\sqrt[3]{1,125}$	$=1,04$

Il se produit donc, dans les deux plaques, une expansion moyenne d'environ 4 pour 100 dans les trois dimensions, pendant la décharge [1]. Dans un accumulateur Planté modèle en spirale, dont les électrodes ont $0^m,50$ de longueur, l'allongement de chaque lame serait de $0^m,02$.

Le foisonnement n'est pas homogène : les parties qui travaillent peu s'étendent moins que les autres; il en résulte des mouvements d'enroulement ou de déroulement, qui se reproduisent en sens inverse pendant la charge.

Si les électrodes sont planes, leur allongement est plus facilement observable. Les constructeurs savent qu'il faut laisser un certain jeu au bout des plaques, pour faire place à leur expansion.

Les plaques extrêmes, qui foisonnent sur une seule face, se bombent pendant la décharge du côté actif, et tendent à se redresser pendant la charge.

Dans l'accumulateur Faure à cloisonnement de laine, les matières spongieuses, appliquées sur de larges bandes de plomb, foisonnent au contact de ces plaques dont les dimensions ne varient point; les dépôts superficiels tendent donc à se détacher de leurs supports. Ceci n'arrive pas dans le dispositif actuel à cellules, qui mérite d'être étudié en détail.

L'accumulateur Faure à cellules peut donner jusqu'à 24 ampères-heures par kilogramme de matières spongieuses ; celles-ci pesant à peu près autant que le grillage qui les contient, on obtient, en définitive, 12 ampères-heures par kilogramme d'électrodes. Les matières actives sont donc $\frac{1}{5}$ des matières spongieuses ou $\frac{1}{10}$ des masses totales.

Pour le contenu des cellules les expansions sont

Foisonnement cubique,	au positif ...	$\frac{4+1,93}{5} = 1,186$
» »	au négatif...	$\frac{4+2}{5} = 1,2$
» linéaire,	au positif ...	$\sqrt[3]{1,186} = 1,058$
» »	au négatif...	$\sqrt[3]{1,2} = 1,062$

[1] En supposant que le foisonnement soit égal dans tous les sens. Mais la matière active, étant un peu *plastique*, doit prendre une expansion plus grande dans les directions où elle ne rencontre pas d'obstacle, et plus petite dans les autres. Cette observation s'appliquera aussi aux électrodes à cellules.

Pour l'ensemble des plaques, les expansions moyennes sont moins grandes de moitié :

Foisonnement cubique, au positif...	$\frac{9+1,93}{10}$	$=1,093$
» » au négatif...	$\frac{9+2}{10}$	$=1,1$
» linéaire, au positif...	$\sqrt[3]{1,093}$	$=1,03$
» au négatif...	$\sqrt[3]{1,1}$	$=1,032$

Dans la première décharge complète, l'expansion se produit sur l'ensemble de l'électrode; mais, à la *charge* suivante, la réduction de volume ne s'opère que sur la matière pulvérulente. Le grillage en plomb fondu est fort peu élastique; son extension persiste. Il en résulte que le plomb réduit et le peroxyde se trouvent, après la recharge, logés dans des cellules un peu trop grandes, dans lesquelles elles se compriment de nouveau par la décharge ultérieure.

Ainsi, le foisonnement qui affecte les masses perméables à chaque décharge n'agit sur les grillages qu'au début [1]. Les cadres s'étendent donc en longueur et en largeur. Leurs parties faibles cèdent plus que les autres à la compression interne. Il en résulte des déformations visibles sur l'une et l'autre électrode, mais plus accusées sur la positive. Le calcul indique qu'elles devraient être à peu près égales des deux côtés; mais la plasticité et la compressibilité du plomb spongieux atténuent l'expansion périmétrique au négatif. Cette souplesse relative de la matière active des négatifs contribue à prolonger leur durée.

IV. *Limite de la décharge.* — Le foisonnement explique pourquoi on n'a pas réussi, jusqu'à présent, à utiliser une fraction plus grande des matières encastrées. Ces matières, le peroxyde surtout, ne sont suffisamment conductrices qu'à la condition d'être tassées; la charge, qui diminue peu à peu la compression, ne peut donc s'opérer que jusqu'à un certain point. La décharge est limitée par un phénomène inverse : la compression qu'elle détermine tend d'abord à compenser la diminution de conductibilité produite par

---

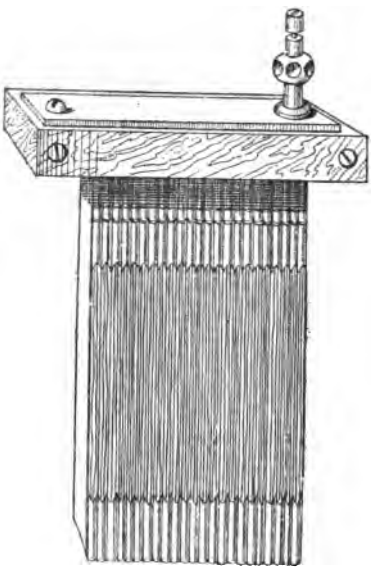
[1] Je néglige ici le foisonnement de la matière des grillages mêmes, qui peu à peu se *forment* (le positif surtout) et participent de plus en plus aux actions électrochimiques.

la sulfatation ; mais elle exprime peu à peu le liquide, véhicule des réactions électrochimiques. Les matières pulvérulentes finissent par devenir sèches, et par conséquent inertes.

Ceci est vrai aussi pour les accumulateurs formés en plein plomb, par le procédé Planté. On peut admettre que les électrodes de ces couples se criblent, par la formation, de cellules très petites et très nombreuses, formant des réseaux serrés dont les grillages de M. Faure seraient la représentation grossière.

V. *Électrodes élastiques.* — Les observations précédentes per-

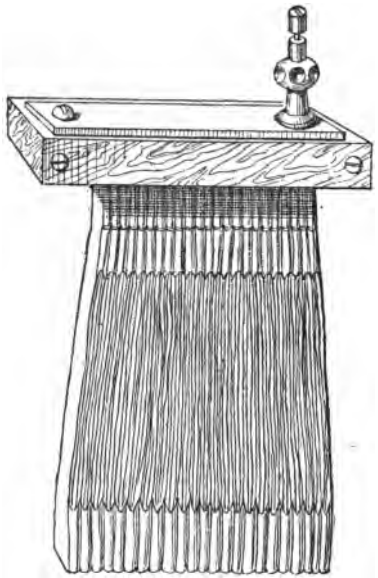
Fig. 2.



mettent d'indiquer les conditions que doivent remplir les électrodes d'accumulateur, pour posséder une grande capacité électrochimique et résister à de nombreuses charges et décharges consécutives : les matières perméables doivent être réparties en faible épaisseur, et avoir avec le support conducteur des contacts très étendus ; ce support doit être doué d'une certaine souplesse, pour obéir aux mouvements que commandent les changements de volume des matières actives.

Mes électrodes plissées et ajourées (*fig.* 2) ont une structure qui répond assez bien à ces exigences. Elles sont, on le sait, constituées par une bande de plomb plissée et ajourée, offrant à l'électrolyse une surface considérable.

Fig. 3.



Un artifice de construction donne à ces plaques une certaine rigidité, malgré la faible épaisseur du métal. Avant d'être plissée transversalement, la feuille de plomb mince est préalablement pliée en triple dans le sens de la longueur. Le tranchage respecte les plis transversaux extrêmes et s'arrête à une certaine distance des bords, ménageant une sorte d'ourlet en haut et en bas. La partie ajourée de l'électrode se trouve ainsi soutenue dans un cadre triplé, qui donne à l'ensemble une consistance satisfaisante.

La plaque se dilate sans effort dans le sens transversal, par le jeu de ses plis, répartis au nombre de soixante sur une largeur de $0^m,12$. Le foisonnement de décharge exige une expansion de $0^m,005$ à $0^m,006$; la plaque subit aisément cet élargissement, et elle revient à sa dimension première pendant la charge. L'élasticité du plomb n'est pas tout à fait nulle; le mouvement qu'on lui demande ne

dépasse pas $\frac{1}{10}$ de millimètre par pli, ou $\frac{1}{30}$ de millimètre par lamelle ; il est obtenu sans déformation permanente.

Cette structure d'électrode se prête donc aux changements alternatifs de volume que produit le fonctionnement des accumulateurs au plomb.

Pourtant l'étude du foisonnement n'a pas pu me guider dans la construction de mes plaques. C'est le contraire qui est arrivé. Mon système d'électrodes est antérieur à la théorie chimique invoquée ici (1). La formation poussée loin et suivie de décharges complètes produit sur ces plaques une expansion en éventail (*fig.* 3) qui a dû attirer mon attention. Je fus ainsi conduit à l'étude des phénomènes que je viens d'avoir l'honneur d'exposer à la Société.

Appareil pour contrôler les surfaces courbes sphériques ou cylindriques; objectifs, lentilles convergentes et divergentes; miroirs concaves et convexes, sphères; par M. Léon Laurent.

L'appareil se compose d'un bâti vertical B (*fig.* 1) le long duquel glisse une équerre S au moyen d'une chaîne ; sa position est indiquée par un vernier, elle porte une plate-forme qui tourne dans un plan horizontal et sert de support aux pièces optiques à étudier. L'appareil est posé sur une table.

Au bout du bâti, est un oculaire positif (que l'on peut remplacer par un microscope à long foyer, pour la mesure des points nodaux, etc.) dont le diaphragme (vu en D en plan et à une plus grande échelle) est divisé en deux parties : la moitié de droite est recouverte par un prisme éclaireur, sa face horizontale est argentée et porte un *quadrillé q* (fait à la machine à diviser) ; c'est un objet artificiel éclairé, dont on étudiera l'image, réfractée ou réfléchie par les systèmes optiques à étudier, et son interprétation donnera la valeur du système.

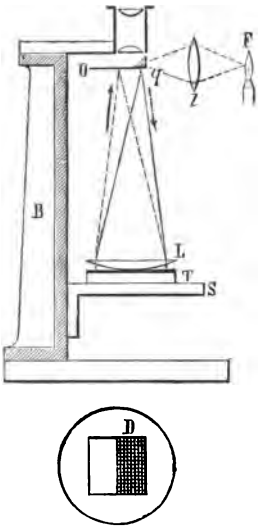
La lumière, d'abord horizontale, est renvoyée par le prisme de haut en bas, traverse divers systèmes, se réfléchit et revient de

---

(1) *Brevet français*, n° 153915, du 23 février 1883.

bas en haut former, sur la moitié gauche et libre du diaphragme D, une image du quadrillé. L'image et l'objet sont dans le plan du diaphragme et toujours de même grandeur.

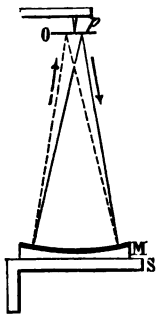
Fig. 1.



Lentilles convergentes, objectifs. — On place sur le support S (*fig.* 1) un plan en verre T. Le vernier marque o lorsque le plan touche le quadrillé. On pose la lentille à examiner L sur ce plan. La lumière qui émane du quadrillé *q* traverse la lentille, se réfléchit sur le plan T et revient se concentrer sur le diaphragme. On fait mouvoir le support S et, quand l'image est *nette* à l'oculaire, elle et le quadrillé se trouvent précisément au foyer principal de la lentille L; on n'a plus qu'à lire au vernier, en tenant compte de la forme de la lentille, de son épaisseur et de sa position sur le plan T. L'image, formée de traits lumineux sur fond *noir*, se distingue très bien. La lumière traverse deux fois la lentille et double ses défauts. La mise au point est très précise; elle est double (toutes choses égales d'ailleurs) de celle que l'on obtiendrait en visant un objet éloigné ou un collimateur, de sorte qu'en cachant telle ou telle partie de la lentille avec divers écrans, on jugera des variations dans les *courbures,* par les différences de *mise au point,*

et la netteté de l'image indiquera la *qualité* du système optique. On éclaire à la lumière monochromatique ou ordinaire ; j'ai disposé deux brûleurs pour ce but; chacun porte une lentille *l* qui sert à concentrer sur le quadrillé *q* l'image de la flamme F et permet de le mettre rapidement à sa place. Si l'on étudie par *réfraction,* on

Fig. 2.



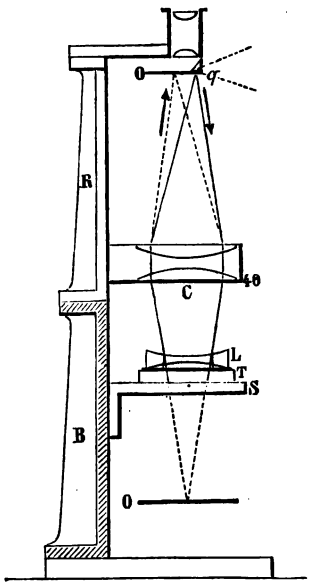
juge de l'ensemble des surfaces et de la matière; on peut examiner ensuite par *réflexion* chaque surface séparément. On mesure directement des foyers de 0^m à $0^m,40$; puis, en élevant l'oculaire par l'interposition de la rallonge R (*fig.* 3), on a jusqu'à $0^m,80$.

Miroirs concaves. — L'appareil étant toujours disposé comme dans la *fig.* 1, on remplace le plan T et la lentille L par le miroir à essayer M (*fig.* 2) et l'on fait mouvoir le support S; l'image est nette lorsque le *centre* de courbure du miroir est dans le plan du quadrillé *q*; le rayon de courbure est égal à la distance entre la surface concave et ce dernier. La mesure présente ici une difficulté pratique. Pour la surmonter, je remplace la pièce oculaire de la *fig.* 1 par une autre portant une pointe *p* (*fig.* 2). Cette pointe affleure le plan du quadrillé : on n'a donc qu'à faire monter la surface concave M jusqu'au contact avec la pointe *p*; le chemin parcouru ou la différence des lectures donne le *rayon* de courbure. On mesure directement de 0^m à $0^m,80$. L'appareil, ainsi muni de sa pointe *p*, sert à mesurer des épaisseurs : c'est un pied à coulisse de précision.

Lentilles divergentes. — Pour ces lentilles, on emploie la dispo-

sition de la *fig.* 3 : c'est l'appareil B, muni de sa rallonge R; il est alors posé sur un tabouret en bois, mais les brûleurs restent sur la table. Au milieu de la hauteur, on adapte, à volonté, un système convergent C, composé de deux lentilles plan-convexe, dont les foyers conjugués sont : en haut, le diaphragme q; en bas, le plan T descendu en o qui est alors le zéro *inférieur*.

Fig. 3.



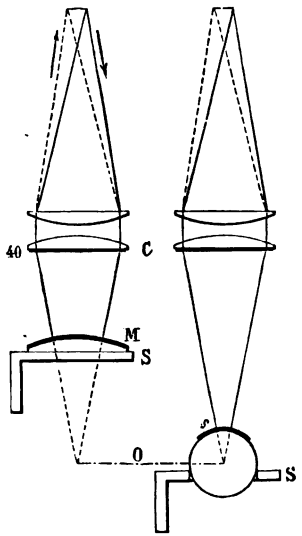
Le quadrillé q donne une image réelle, visible sur le plan T : elle se réfléchit sur le quadrillé lui-même et l'on ne voit *rien* à l'oculaire; mais, si l'on interpose une lentille divergente L sur le plan T et que l'on remonte le support S, les faisceaux réfractés par L se réfléchiront obliquement sur le plan et se présenteront, à leur retour dans le système C, avec une inclinaison *symétrique;* ils donneront alors une image visible à l'oculaire, comme dans les cas précédents.

L'image est nette lorsque le plan focal de L coïncide avec le zéro inférieur, et l'index indique la distance entre le plan T et ce plan focal; il n'y a plus qu'à lire, en tenant compte de la forme de la lentille, etc., comme pour les lentilles convergentes.

Cette disposition permet donc de mesurer *directement* le foyer des lentilles divergentes et de juger de leur *qualité;* aucun appareil ne l'avait encore permis. On mesure ainsi de 0^m à $0^m,40$.

Surfaces convexes, sphères. — On emploie la disposition de la *fig.* 3 dans laquelle on enlève le plan T (inutile ici) et l'on remplace L par la surface convexe M (*fig.* 4); quand l'image est

Fig. 4.



nette, le *centre* de courbure coïncide avec le zéro inférieur; on amène la surface M en contact avec le système convergent C et le chemin parcouru, retranché de $0^m,40$, donne le rayon cherché; on va ainsi jusqu'à $0^m,40$.

On mesure de la même façon des *sphères* de 0^{mm} à 75^{mm} de diamètre; le support S est alors au-dessous du centre.

Surfaces cylindriques. — Les expériences précédentes peuvent se répéter avec les surfaces *cylindriques,* convexes ou concaves; l'image ne donne plus alors qu'un système de droites *parallèles* lorsqu'on est au point, et encore, pour qu'il soit net, il faut qu'il soit parallèle à l'*axe* du cylindre; le mouvement horizontal de la plate-forme du support S est bien commode pour cela; sa posi-

tion détermine l'*orientation* exacte de l'*axe* des systèmes cylindriques examinés. Cela serait utile dans la vérification des lunettes ou pince-nez destinés à corriger l'astigmatisme (il y a des instruments pour les prescrire, mais non pour les contrôler).

L'appareil comporte deux lentilles supplémentaires, biconvexe et biconcave, de $0^m,39$ de foyer ; on les pose sur les surfaces à longs rayons de courbure, ce qui permet de mesurer jusqu'à l'infini. Par la marche des rayons, on verrait facilement que, pour le foyer ou le rayon cherché, on aurait la formule connue

$$x = \frac{Ff}{F - f},$$

dans laquelle F est le foyer principal connu de la lentille supplémentaire et f la distance (que l'on mesure) des lentilles à la pointe p (*fig.* 2) ou à la face C (*fig.* 3 et 4).

En résumé, cet appareil est un *focomètre* de précision, il est général et convient à toutes les surfaces *courbes;* on peut pousser la précision assez loin quand c'est nécessaire et, pour les cas ordinaires, il permet de voir, d'un coup d'œil et sans préparation, la *qualité* d'un système optique à foyer.

Cet appareil est à la fois un outil précieux entre les mains de l'opticien et il peut aussi rendre des services variés dans les laboratoires.

RÉUNIONS DES MARDI 7 ET MERCREDI 8 AVRIL 1885,

à 8 heures très précises du soir.

Éclairage électrique, par MM. **Sautter** et **Lemonnier**.
Machine à vapeur de MM. **Weyher** et **Richemond**.
Appareil ayant servi à la détermination de l'étalon absolu de la lumière..... M. **Violle**.
Projection de divers phénomènes de diffraction destinés à imiter le phénomène de la couronne solaire..... M. **Cornu**.
Influence de la pression sur la température de changement d'état allotropique de l'iodure d'argent..... MM. **Mallard** et **Le Châtelier**.
Démonstration par projection des cristaux positif et négatif au moyen de la compression. — Expérience qui fit découvrir à Arago la polarisation chromatique. — Expériences diverses d'optique..... M. J. **Duboscq**.

Appareil pour l'étude des intensités lumineuses et chromatiques des différentes lumières simples et de leur mélange	MM. **Parinaud** et **J. Duboscq.**
Projection de la photographie instantanée de l'éclair du 21 juillet 1884	M. **Desquesnes.**
Appareil pour l'entretien électrique des plaques circulaires en vibration	M. **E. Mercadier.**
Appareil nouveau pour la projection des plaques de Chladni; construit par	MM. **Th.** et **A. Duboscq.**
Réfractomètre différentiel (construit par MM. **Th.** et **A. Duboscq**)	M. **H. Trannin.**
Optomètre binoculaire pour la détermination des verres propres à la vision	M. **Nachet** (jeune).
Quelques expériences de diffraction et d'interférence	M. **Nodot.**
Petite lampe à projection modifiée sur l'indication de M. **d'Arsonval**	M. **Lutz.**
Lampes électriques universelles de sûreté, portatives, automatiques, réglables et inversables. — Lampes automatiques de sûreté pour les sapeurs-pompiers, les mines, les poudrières, etc., servant aussi d'allumoirs. — Lampes électriques automatiques pour la micrographie, la photomicrographie, la laryngoscopie, etc. — Photophore électrique Hélot-Trouvé, etc. — Bijoux électriques lumineux pour soirées, théâtres, etc.	M. **Trouvé.**
Vélocimètre chronographe ayant servi à la mesure de la vitesse de propagation de la détonation dans les corps explosifs, solides et liquides. (Expériences de M. **Berthelot.**) — Projectiles enregistreurs pour l'étude de la résistance de l'air. — Empreintes de vibrations produites par le choc de projectiles sur des plaques de cuivre. — Balances manométriques pour la mesure de la pression ou de l'aspiration produite par le souffle des bouches à feu	M. le **Colonel Sebert**
Expériences sur l'endosmose des gaz	M. **Gréhant.**
Mesure de la pression nécessaire pour déterminer la rupture des vaisseaux sanguins (appareil construit par M. **Golaz**).	MM. **Gréhant** et **Quinquaud.**
Installation électrique établie à Breteuil pour la comparaison des étalons prototypes de l'ohm, construits par M. **R. Benoît.** — Étalons commerciaux. Boîte de résistances. — Galvanomètre Thomson, différentiel et démontable (modèle J. Carpentier). — Nouveau modèle des piles thermo-électriques Clamond. — Boussole des tangentes (modèle de M. **Mascart**). — Pile à circulation automatique de M. J. Carpentier	M. **J. Carpentier.**
Appareil pour contrôler les surfaces planes en général. — Appareil à contrôler les surfaces courbes. — Nouveau goniomètre à réflexion, etc	M. **Léon Laurent.**
Nouvel appareil construit par M. **Ducretet**, pour la préparation de l'acide carbonique solide. — Expériences diverses avec l'acide carbonique solide	M. **Cailletet.**

Nouveau galvanomètre astatique. — Ampèremètre et voltmètre sans oscillation et sans orientation, à indications invariables. — Photographie des effluves et étincelles électriques. — Exploseur et amorces **Scola-Ruggieri**, permettant d'opérer sans danger même au sein du grisou. — Anémomètre électrique de M. **Saint-Loup**, permettant de faire connaître la direction du vent dans une station située à grande distance de l'observatoire..... M. **E. Ducretet.**

Aimants (la trempe de l'acier est obtenue par la compression, procédé Clémandot), construits par M. **Piat**..... M. **Clémandot.**

Appareil servant à doser mathématiquement l'excitation électrique pour les expériences d'électrophysiologie..... M. **Boudet de Pâris.**

Divers appareils servant à la méthode graphique de M. **Marey**. — Appareils d'électrophysiologie ..... M. **Verdin.**

Baromètre métallique enregistreur à papier sans fin. — Pluviomètre enregistreur. — Aéroscope enregistreur du Dr **Miquel**. — Statoscope enregistreur. — Thermomètre médical enregistreur du Dr **Gallois**. — Baromètre, thermomètre, hygromètre enregistreurs (modèles adoptés par le Bureau central météorologique) .... MM. **Richard** frères.

Dromoscope du Commandant **Fournier**. — Boussole d'intensité Fournier. — Ampèremètres à mercure de M. **Lippmann**. — Pont à induction (modèle Breguet). — Téléthermomètre et indicateur à distance de M. **Droult**. — Anémographe, présentés par la ..... **Maison Breguet.**

Nouveau commutateur Bertin ..... M. **Jaulin.**

Appareil pour la piézo-électricité du quartz. (Source constante d'électricité statique), d'après MM. **J.** et **P. Curie**. — Électromètre Thomson-Branly, modifié par MM. **Curie**. — Piles de Volta pour charger les électromètres, disposition de MM. **Curie**. — Galvanomètre vertical à fléau. — Appareil électro-dynamique de M. **Buguet**. — Nouvelle machine à diviser. — Sirène à régulateur électromagnétique..... M. **Bourbouze.**

Machine à diviser la ligne droite ..... M. **Dumoulin-Froment.**

Pile **Lalande** et **Chaperon**. — Appel phonique de **Sieur**. — — Poste téléphonique militaire de M. d'**Arsonval**..... M. **de Branville.**

Voltmètres et ampèremètres de MM. Deprez et d'Arsonval modifiés par M. **Deprez** pour rendre les déviations proportionnelles. — Appels Abdank. — Thermomicrophones et Téléphones magnétiques du Dr **Ochorowicz**..... MM. **P. Barbier** et **Abdank-Abakanowicz.**

Nouveaux types de galvanocautères. — Galvano-cautère à circulation de liquide du Dr Boisseau du Rocher. — Appareils à courants continus, portatifs. — Appareils d'induction portatifs à pile toujours chargée. — Sonde microtéléphonique..... M. **Chardin.**

Circuli-diviseur et anguli-diviseur Mora; présenté par ..... M. **Molteni.**

Compteur d'électricité ..... M. **Cauderay.**

Électrodes d'accumulateurs à libre expansion; par ..... M. **Reynier.**

Piles et nouveaux modèles d'accumulateurs (système Rey-

nier) ..... M. **Simmen.**
Accumulateurs électriques (système Reynier) ..... MM. **Blanc et Cie.**
Pile à électrodes de charbon ..... MM. **D. Tommasi et Radiguet.**
Nouvelle disposition de la pile de Poggendorff, à deux liquides, supprimant l'endosmose à circuit ouvert et permettant un réglage très précis ..... M. **Radiguet.**
Électrophone avec avertisseur spécial. — Pile Maiche. — Galvanomètre à projection. — Transmetteur et récepteur pour câbles sous-marins. — Appareil à l'usage des lignes téléphoniques pour les rendre à la télégraphie et éteindre tous les bruits d'induction. — Micro-ohmmètre ..... M. **Maiche.**
Nouvelle disposition du téléphone magnétique à plaques polarisées ..... M. **Colson.**
Téléphones et thermomicrophones pouvant être entendus à haute voix par tout l'auditoire ..... M. **Ochorowicz.**

SÉANCE DU 17 AVRIL 1885.

PRÉSIDENCE DE M. MAREY.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 mars est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Bienaymé, Ingénieur de la Marine, Directeur de l'École d'application du Génie maritime.
Straus, Capitaine du Génie, attaché au Dépôt des fortifications, de Paris.

M. le Président propose à la Société de consentir à l'échange de son Bulletin avec celui de la Société belge des Électriciens.

La proposition est adoptée.

M. le Président annonce la perte que vient de faire la Société dans l'un de ses Membres les plus éminents, M. Rolland, membre de l'Institut, Directeur général des manufactures de l'État.

M. Boudet de Paris rappelle les diverses méthodes qui ont été proposées dans ces dernières années et particulièrement au Congrès international des Electriciens, pour l'unification des excitations électriques employées en physiologie et en médecine.

D'après M. Boudet de Pâris, l'emploi du condensateur chargé par une batterie galvanique offre la solution la plus pratique au point de vue de l'instrumentation, et les calculs deviennent de la plus grande simplicité. Cette méthode a d'ailleurs été déjà utilisée avantageusement par MM. Marey et d'Arsonval au Collège de France.

Aujourd'hui M. Boudet de Pâris présente une Table sur laquelle il a réuni les différents instruments dont l'ensemble constitue un appareil physiologique permettant de doser mathématiquement les excitations électriques.

Les organes essentiels de cet appareil sont : d'une part, un condensateur à feuilles d'étain d'une capacité de $\frac{1}{2}$ microfarad ; d'autre part, une batterie galvanique composée de 12 éléments Gaiffe au chlorure de zinc ; cette batterie est munie d'un collecteur qui permet de prendre les éléments un par un.

Le dispositif, destiné à effectuer la charge et la décharge du condensateur, comporte trois organes agencés de façon à pouvoir agir isolément :

1° Une *clef de Morse* qui permet à l'opérateur de n'envoyer qu'une seule excitation dans le nerf ou le muscle de l'animal en expérience ;

2° Un *trembleur* électromagnétique, entretenu par une pile indépendante, et qui peut donner de 4 à 60 excitations par seconde ; un signal inscripteur de M. Deprez est intercalé dans le circuit de ce trembleur pour indiquer le nombre d'excitations fournies par seconde ;

3° Un *déchargeur*, actionné directement par le mouvement du cylindre sur lequel s'inscrit le résultat de l'excitation ; chaque tour du cylindre détermine une décharge du condensateur et, au moyen d'une double roue d'engrenage, les secousses musculaires peuvent être superposées, ou inscrites à des intervalles toujours égaux.

Cette Table est accompagnée d'un Tableau qui indique l'énergie, *en milligrammètres*, de la décharge du condensateur pour toutes les charges obtenues avec un des douze numéros de la batterie de Gaiffe.

M. Boudet de Pâris insiste sur les avantages que la médecine légale pourrait retirer de l'emploi de cette méthode dans la recherche des poisons ; à l'appui de cette opinion, il présente à la Société une série de tracés-types qu'il a obtenus avec des grenouilles empoisonnées par différents alcaloïdes ; la précision de la méthode expérimentale devient assez complète pour que, avec une dose déterminée d'un poison quelconque, une même décharge du condensateur puisse toujours fournir un tracé identique et, par conséquent, caractéristique du poison étudié.

M. D'ARSONVAL rappelle, à propos de la Communication de M. Boudet de Pâris qu'en 1877-1878 il a fait de nombreuses expériences sur l'excitation électrique des tissus vivants par le condensateur. Il est arrivé à la suite de ses recherches à cette double conclusion :

1° Il n'y a pas proportionnalité entre l'énergie de l'excitation, et l'énergie de la contraction, en général, surtout quand c'est le nerf qu'on excite.

2° *La décharge du condensateur suffit à elle seule pour modifier l'excitabilité du nerf*, par suite de la polarisation résultant du passage, du courant toujours dans un même sens.

Pour éviter cette cause d'erreur, M. d'Arsonval imagina de décharger le

condensateur dans le fil primaire d'une petite bobine d'induction sans fer; le nerf était en rapport avec le fil secondaire et se trouvait ainsi traversé, à chaque décharge du condensateur, par deux courants instantanés de sens inverse n'amenant aucune polarisation.

Dans ces conditions l'excitabilité du nerf n'est plus modifiée par l'excitant, ainsi qu'il résulte des nombreux tracés comparatifs dont M. d'Arsonval montre des spécimens. Cet appareil, construit par M. Gaiffe, figurait à l'exposition de 1878 et M. d'Arsonval en a donné une description à l'Académie des Sciences le 27 juin 1881. M. d'Arsonval ajoute que la connaissance de l'énergie d'une excitation ne suffit pas pour la définir; il faut tenir grand compte surtout de la *durée* de la décharge. Si on décharge le condensateur sur le nerf à travers un fil mouillé, ou si on lui donne la même énergie en abaissant E et en augmentant Q dans le même rapport, on constate que la contraction musculaire est beaucoup plus faible ou même nulle dans certains cas.

Les phases de la variation ont également une grande importance. M. d'Arsonval, par une méthode qu'il rappelle et qu'il a décrite en 1881 à la Société de Biologie, est arrivé à inscrire simultanément la courbe d'excitation électrique et la courbe musculaire résultante. On a ainsi tous les éléments de la question. On fait varier à volonté la forme de la courbe électrique. Les résultats sont très intéressants, M. d'Arsonval les fera connaître dans une Communication ultérieure.

M. Mascart fait observer qu'il est nécessaire de définir exactement la durée de la décharge. Cette durée est proportionnelle à la résistance totale du circuit. Il est aussi indispensable, lorsqu'on interpose une résistance entre le condensateur et le nerf, de tenir compte de la quantité d'énergie perdue dans cette résistance. L'énergie à définir est celle qui se dépense dans le tissu.

M. Marey demande en quoi consiste la modification apportée dans le nerf par la décharge. Il fait remarquer que les expériences citées par M. d'Arsonval pour démontrer cette polarisation ont été effectuées par séries séparées par des repos; or les diagrammes mis sous les yeux de la Société montrent que dans chaque série les excitations sont de même grandeur, et la diminution apparaît seulement quand on passe d'une série à la suivante. Ces résultats sembleraient indiquer que le nerf a surtout été modifié pendant ces repos.

M. Boudet de Paris admet dans le nerf l'existence d'une véritable polarisation produite par des courants de même sens, mais il la croit trop faible pour produire les résultats cités par M. d'Arsonval. A son avis, cette altération profonde de l'excitabilité serait due en grande partie à l'action de l'air sur le nerf mis à nu.

M. Clemandot fait à la Société une Communication au sujet de la trempe des aimants.

On sait que pour donner à l'acier la propriété de s'aimanter, il faut lui donner la *force coercitive*, autrement dit, un état moléculaire particulier. C'est au moyen de la trempe que cette force coercitive est donnée à l'acier. M. Clemandot est arrivé au même résultat, en comprimant fortement l'acier, à l'aide d'une presse hydraulique ; cette pression en général est de 20^{kg} à 30^{kg} par millimètre carré, et elle agit dans ce cas sur un acier préalablement porté au rouge de la trempe, c'est-à-dire le rouge cerise.

Welworth, en Angleterre, avait comprimé l'acier à l'état liquide pour en faire sortir les gaz, il n'y a donc aucune analogie entre le procédé Welworth et le procédé Clemandot. Chose remarquable, l'acier ainsi comprimé n'augmente pas de densité : l'acier trempé est moins dense que l'acier naturel, il y a presque égalité entre l'acier comprimé et l'acier naturel.

M. Clemandot, pour vérifier que la compression n'agissait pas par le seul refroidissement des surfaces, a interposé des feuilles d'amiante, isolant ainsi l'acier du contact des surfaces froides de la presse; il a obtenu aussi d'excellents aimants.

Outre la propriété coercitive que donne à l'acier la compression, elle lui donne encore, par suite de l'arrangement moléculaire obtenu, une plus grande résistance sans qu'il en résulte une diminution dans son élasticité.

On comprend donc les nombreuses applications de la compression de l'acier, ce qui justifiera les prévisions de l'illustre chimiste Dumas, qui a dit: « Il y a là une découverte féconde ».

M. D'ARSONVAL fait observer que l'acier comprimé permettra la fabrication d'aimants d'une seule pièce au lieu d'aimants à plusieurs lames, ce qui sera avantageux et économique en même temps.

SÉANCE DU 1er MAI 1885.

PRÉSIDENCE DE M. MAREY.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 17 avril est lu et adopté.

Est élu Membre de la Société :

M. ROCANDÉ (Olivier), Ingénieur des Arts et Manufactures, à Paris.

M. le PRÉSIDENT fait part à la Société de la perte qu'elle a faite de l'un de ses membres étrangers les plus éminents, M. Rossetti, professeur à l'Université de Padoue, président de la Faculté des sciences de cette ville.

M. le PRÉSIDENT annonce qu'une Exposition aragonaise se tiendra à Saragosse du 1er septembre au 31 octobre 1885.

M. le Secrétaire général signale l'envoi d'une Note de M. le comte L. Hugo, présentant quelques rapprochements curieux entre le triangle, dit de Pythagore, et le nombre 435 des vibrations complètes du diapason normal.

M. d'Arsonval présente une rectification au procès-verbal de la dernière séance. Le tracé de contraction musculaire présenté par lui et qui a donné lieu à l'observation de M. Marey doit être interprété de la manière suivante :

Il n'y a pas eu interruption entre les secousses; on excite le muscle (par son nerf) au moyen du condensateur, jusqu'à ce qu'il ne réponde plus à l'excitation. Une fois épuisé, on le laisse reposer, et, quand il a repris son activité, on l'excite par le dispositif de M. d'Arsonval (bobine et condensateur); on constate alors que ce même nerf ne présente pas trace de fatigue, après l'avoir excité aussi longtemps qu'avec la décharge directe du condensateur. L'expérience est décisive et montre que la cause de la fatigue est due exclusivement à la nature de l'excitation.

M. Violle a apporté quelques perfectionnements aux appareils qui servent à obtenir l'*unité de lumière*. Le four, placé sur un chariot, peut être amené sous le couvercle maintenu invariablement en place ou sous le diaphragme également installé à poste fixe : par suite de cette nouvelle disposition, on fond le platine dans un four ordinaire, on l'amène liquide sous le diaphragme; puis on le ramène sous le couvercle où une nouvelle fusion s'opère en quelques instants, et l'expérience se répète autant de fois que l'on veut, rapidement et sûrement. Le photomètre est muni, en face de chacune des moitiés de l'écran, d'un prisme à réflexion totale, que l'on peut diriger à volonté vers une source à rayonnement horizontal, comme une lampe, ou vers un bain métallique à rayonnement vertical. Les mesures sont ainsi rendues très faciles.

M. Siemens a cherché un mode opératoire plus économique, et il a construit une petite lampe dans laquelle une lame de platine très mince est fondue par un courant électrique derrière une ouverture de diamètre déterminé. Il ne faut plus dès lors qu'une quantité insignifiante de platine; le métal peut être aisément pur, et, étant fondu librement à l'air, sera à l'abri de toute souillure accidentelle pendant l'expérience. Mais on ne peut opérer que sur une petite surface, et il est nécessaire chaque fois de s'assurer que la fusion s'est bien effectuée sur toute cette surface. Dans l'appareil construit par M. Siemens, un ruban de platine enroulé sur une bobine vient s'engager dans un petit laminoir, au delà duquel il est saisi par une pince qu'il suffit de retirer pour amener le bout de ce ruban derrière une ouverture exactement égale à $0^{cm^2},1$. Un courant est lancé dans l'appareil et progressivement élevé au moyen d'un rhéostat; la température du ruban s'élève graduellement, et à $12^{amp},5$, la fusion se produit. Le fonctionnement de ce *dixième d'unité* est très bon; et M. Violle, dans une

longue série de mesures, l'a trouvé exact à $\frac{1}{100}$ près, c'est-à-dire au degré même d'exactitude que comporte ce genre d'expériences.

M. Hospitalier, à propos de la Communication de M. Violle, appelle l'attention de la Société sur l'intérêt qu'il y aurait à recommander aux physiciens et aux industriels l'emploi exclusif du nouvel étalon de lumière.

M. Marey expose le résultat d'expériences ayant pour but d'exprimer par la photographie stéréoscopique la trajectoire d'un point qui se déplace suivant les trois dimensions de l'espace. Ce problème avait été autrefois résolu par la méthode graphique dans certaines conditions spéciales. Ainsi M. Carlet, utilisant dans le laboratoire de M. Marey un dispositif destiné à l'analyse des mouvements du vol de l'oiseau, avait inscrit la trajectoire du pubis et de la hanche d'un homme qui marche. La forme de cette trajectoire n'avait guère pu être représentée que par une figure solide formée d'un fil de métal tordu en sens divers. Le point considéré se mouvait à la surface d'un demi-cylindre à concavité tournée en haut et y décrivait des oscillations alternatives de droite à gauche, la projection de ces oscillations sur un plan horizontal représentant une sorte de sinusoïde très surbaissée.

La reproduction de cette figure solide, au moyen du dessin, permettait, grâce à la perspective et aux ombres portées, de donner une idée de la forme de cette trajectoire, mais, pour bien des personnes, cette figure était peu intelligible.

M. Marey a tenté de recueillir par la photographie la trajectoire d'un point du corps, aux différentes allures, marche, course, saut. A cet effet, il recourait à la photographie sur fond obscur : un point brillant, fixé sur le vêtement noir du marcheur envoyait seul de la lumière sur la plaque sensible. (Cette méthode a été précédemment exposée devant la Société.) En se plaçant sous une incidence convenable, c'est-à-dire un peu en arrière, en haut et de côté, par rapport à la direction de la marche, on obtient la perspective de la trajectoire suivie par le point lumineux. Mais cette figure unique est encore peu intelligible; la réunion de deux images stéréoscopiques devait donner une représentation beaucoup plus satisfaisante. En effet, en prenant deux photographies simultanées, avec un appareil stéréoscopique, on a des images qui donnent la sensation d'un relief bien caractérisé. La trajectoire revêt l'apparence d'un fil brillant, tordu en sens divers et dont les inflexions varient avec la nature de l'allure. M. Marey pense que, en dehors de ces applications physiologiques, cette méthode est susceptible d'un emploi général pour l'analyse cinématique du mouvement d'un point soumis à des forces diverses.

M. Sébert signale l'importance que peut présenter l'application de la méthode photographique de M. Marey à l'étude de la trajectoire des projectiles. La forme de cette trajectoire est peu connue; il serait possible de la déterminer expérimentalement en photographiant, à l'aide de deux

appareils stéréoscopiques, les positions successives du projectile à des instants également espacés.

A l'occasion de la Communication de M. Marey, une discussion s'engage entre divers membres de la Société, au sujet de l'écartement à donner aux objectifs des deux appareils photographiques, pour obtenir les meilleures conditions de restitution stéréoscopique.

M. Napoli pense que l'écartement des deux objectifs ne doit pas dépasser l'écartement moyen des yeux. On obtient ainsi la restitution du relief réel, un écartement plus grand donnant lieu à une déformation de l'objet.

M. Cornu est d'avis que cette déformation n'a pas d'importance. Un écartement un peu grand des objectifs accuse plus nettement les petites variations latérales de la trajectoire. La restitution stéréoscopique se fait sans doute moins aisément, mais il serait possible de la faciliter en disposant, dans le champ parcouru par le mobile, une série de repères placés à des distances connues. L'œil corrigerait alors de lui-même les erreurs de relief.

M. Javal admet aussi qu'il est préférable d'écarter un peu les objectifs. Cet écartement équivaut optiquement à un rapprochement de l'objet et augmente le relief. M. Javal conseille l'emploi d'un appareil téléstéréoscopique pour déterminer par l'expérience les meilleures conditions d'écartement.

M. Cailletet expose à la Société le résultat de ses dernières recherches sur la liquéfaction de l'oxygène, à l'aide d'un procédé nouveau et d'une grande simplicité.

M. Cailletet se sert encore d'éthylène qu'il a appris à liquéfier au moyen de sa pompe à piston de mercure et il en active l'évaporation en y insufflant de l'air ou mieux de l'hydrogène préalablement refroidi.

Dans ces conditions, la température de l'éthylène, mesurée avec un thermomètre à hydrogène, que M. Cailletet présentera prochainement à la Société, s'abaisse à — 123°. Il suffit de plonger dans de l'éthylène à — 123° un tube contenant de l'oxygène comprimé, pour voir le gaz se transformer en un liquide transparent, incolore et d'une limpidité parfaite.

L'appareil de M. Cailletet se compose du récipient en acier qui contient l'éthylène liquide et qui est maintenu verticalement l'orifice de sortie tourné vers le bas. A cet orifice est adapté un serpentin en cuivre de $0^m,003$ ou $0^m,004$ de diamètre intérieur, qu'on refroidit dans du chlorure de méthyle dont on active l'évaporation au moyen d'un courant d'air : la température descend ainsi à — 70°. Le récipient étant mis en communication avec le serpentin, l'éthylène s'y accumule et n'a plus à cette température qu'une faible tension : il est donc facile de le recueillir sans perte en ouvrant le robinet à vis qui ferme l'extrémité inférieure du serpentin.

L'éthylène, recueilli dans une éprouvette en verre mince placée dans un vase contenant de l'air sec, reçoit un rapide courant d'air ou d'hydrogène refroidis à — 70° ; la température du bain s'abaisse alors suffisamment pour

que, en y plongeant un tube dans lequel on comprime de l'oxygène au moyen de la pompe de M. Cailletet, cet oxygène se transforme à l'instant en liquide de la manière la plus nette.

M. Cailletet regrette de ne pouvoir répéter l'expérience à la séance même; il craindrait que la volatilisation de quantités notables d'éthylène à la lumière du gaz ne présentât quelque danger; mais il se tient à la disposition des membres de la Société pour répéter l'expérience à la Sorbonne, dans le laboratoire de M. Jamin.

Rendez-vous ayant été pris pour le dimanche 3 mai, l'expérience a été faite à plusieurs reprises en présence d'un assez grand nombre de membres de la Société; chacun a pu s'assurer qu'avec la disposition de M. Cailletet la liquéfaction de l'oxygène est devenue une expérience tellement simple, qu'elle peut entrer dès aujourd'hui dans la pratique des laboratoires et être reproduite dans les cours publics.

Locomotion de l'homme. — Images stéréoscopiques des trajectoires que décrit dans l'espace un point du tronc pendant la marche, la course et les autres allures; par M. Marey.

Il y a quinze ans environ, M. Carlet, aujourd'hui professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble, entreprit, dans mon laboratoire, de déterminer la trajectoire qu'un point du tronc décrit dans l'espace pendant la marche.

Une disposition mécanique, analogue à celle que j'avais employée précédemment pour inscrire les mouvements de l'aile de l'oiseau, servit à ces expériences. Celles-ci montrèrent qu'un point central, le pubis, décrit une courbe que l'on peut considérer comme inscrite dans une gouttière à convexité inférieure, au fond de laquelle se trouvent les minima et aux bords de laquelle sont tangents les maxima. La génératrice de ce demi-cylindre est parallèle à la direction de la marche; les minima correspondent au milieu de l'appui bilatéral et les maxima au milieu de l'appui unilatéral.

La forme d'une telle courbe peut être très bien représentée par une figure solide faite d'un fil de métal tordu en sens divers. En regardant cette figure d'un point convenablement choisi, on peut, grâce à la perspective, en apprécier les inflexions suivant les trois dimensions de l'espace et même les représenter par le dessin. La difficulté que présente l'inscription mécanique d'un mouvement

suivant trois dimensions, et l'impossibilité d'analyser par cette méthode les allures très rapides, m'ont engagé à recourir à la photographie pour la détermination des trajectoires dans l'espace.

J'ai montré, dans une Note précédente (1), avec quelle facilité singulière la chrono-photographie exprime la trajectoire d'un point brillant fixé sur le corps d'un homme habillé de noir, et permet de suivre les inflexions de la courbe décrite, variables suivant l'allure que l'on observe.

Mais, dans les images photographiques obtenues jusqu'ici, je cherchais à obtenir la projection des mouvements du corps sur un plan parallèle à celui dans lequel la marche s'effectue. Si cette disposition est la meilleure pour apprécier à leur valeur réelle les oscillations verticales du corps, ainsi que les accélérations et les ralentissements dans la progression, elle dissimule totalement les mouvements qui se produisent suivant la troisième dimension, c'est-à-dire dans le sens perpendiculaire au plan de la marche.

Dans le courant de l'hiver dernier, je fis plusieurs expériences pour photographier la trajectoire d'un point du tronc, en plaçant l'appareil de telle sorte que la perspective rendît sensibles les déplacements qui se produisent suivant les trois dimensions de l'espace.

Un homme vêtu de noir et portant au niveau du sacrum une petite boule brillante marchait sur un terrain plat.

En arrière et à 2^m à gauche et au-dessus de l'axe de la marche, était braqué l'appareil chrono-photographique. L'image obtenue rendait sensibles les déplacements suivant les trois dimensions de l'espace. Toutefois, malgré la perspective, la figure n'était bien intelligible que pour ceux qui connaissaient d'avance la trajectoire; et encore, à la condition que les inflexions de cette trajectoire fussent symétriques. Il m'a semblé que la stéréoscopie devait rendre des figures de ce genre parfaitement intelligibles dans tous les cas.

Je substituai donc un appareil stéréoscopique à l'appareil photographique simple, et, plaçant au devant des objectifs un obturateur qui me permît de les ouvrir et de les fermer tous deux à la

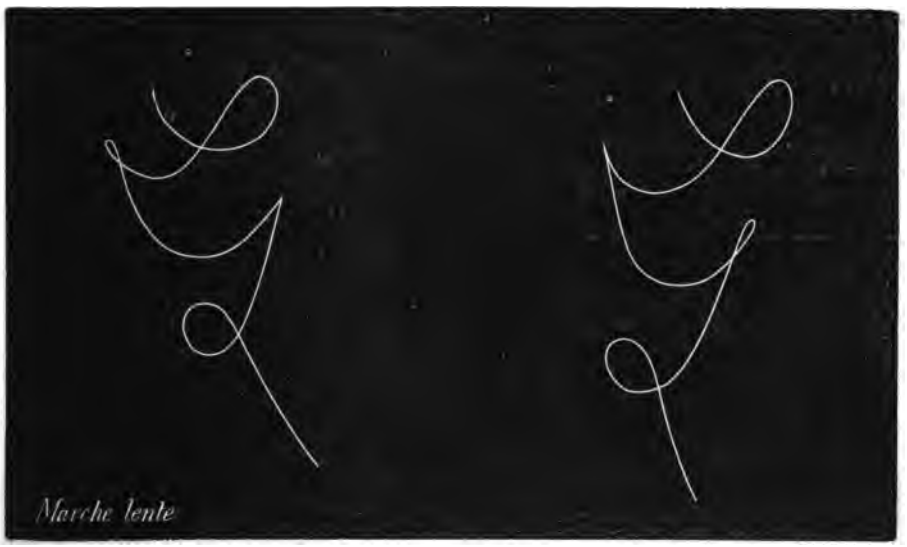
---

(1) *Séances de la Société de Physique,* année 1883, p. 144.

fois, je recueillis des trajectoires correspondant à un petit nombre de pas, dans la marche, la course et les différentes allures.

Ces figures confirment pleinement les expériences de M. Carlet sur la trajectoire d'un point du tronc dans la marche; elles montrent, en outre, les variétés que présente la trajectoire d'un même point du corps aux autres allures. Vues au stéréoscope, elles donnent un relief parfait: on croirait avoir sous les yeux un fil de métal tordu en sens divers et répétant périodiquement les mêmes inflexions.

Fig. 1.



Trajectoire stéréoscopique de la marche lente.

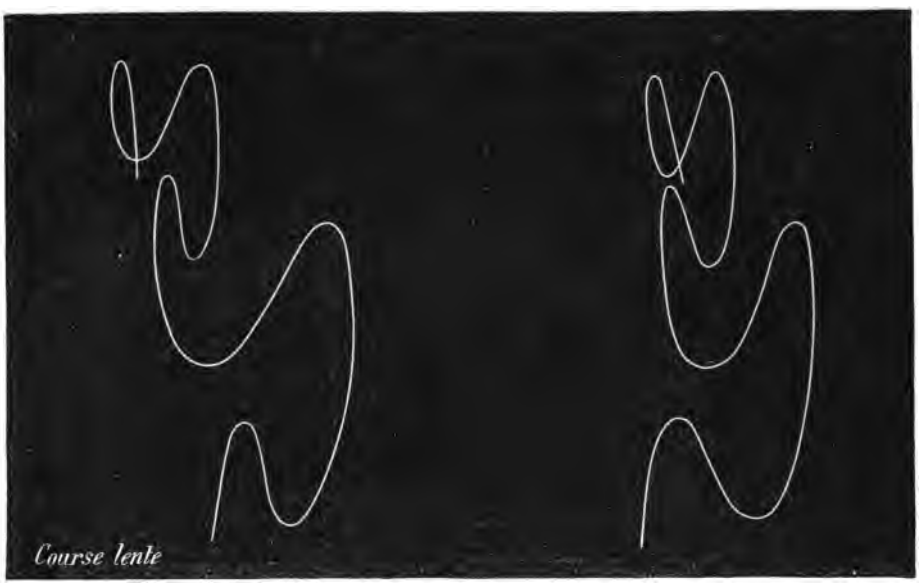
Afin que le lecteur puisse juger de la netteté de cette sensation de relief, nous avons représenté dans la *fig.* 1 les deux images stéréoscopiques correspondant à deux pas de marche lente.

Beaucoup de personnes ont acquis l'habitude de fusionner sans instrument deux images stéréoscopiques, et d'obtenir ainsi la sensation du relief; pour les autres, il sera facile de décalquer ces figures sur papier transparent et d'introduire les décalques dans le stéréoscope.

Je n'insisterai pas sur les caractères particuliers de ces trajectoires; elles ne prennent, du reste, tout leur intérêt qu'autant

qu'on les rattache aux différents mouvements des membres dont elles constituent les *réactions*. Si je signale spécialement la représentation stéréoscopique de la trajectoire d'un point dans l'espace, c'est que cette méthode me paraît contenir la solution d'un grand nombre de problèmes cinématiques, fort difficiles sans doute à résoudre autrement. Et, sans sortir du domaine de la Physiologie, on trouvera, dans la photographie stéréoscopique, le moyen d'analyser les réactions du cheval, les mouvements du corps de l'oiseau pendant le vol, etc.

Fig. 2.



Trajectoire stéréoscopique de la course lente.

En effet, les réactions dures ou douces de certains chevaux à diverses allures ne tiennent certainement qu'à l'étendue ou aux inflexions plus ou moins brusques des mouvements du corps du cheval; déterminer la nature des mouvements qu'exécute un point brillant placé sur la selle d'un cheval, et établir la coïncidence des différentes inflexions de sa trajectoire avec les actions des membres, ce sera véritablement interpréter physiologiquement les *réactions du cheval*. Enfin, ces réactions qui se transmettent au cavalier sont certainement influencées, à leur tour, par les réactions du

cavalier sur le cheval. Cette combinaison des effets de deux forces réagissant l'une sur l'autre était jusqu'ici inaccessible aux moyens d'observation connus; je me propose d'en faire prochainement l'objet de mes études.

Enfin, toutes les fois que cela est nécessaire, on peut introduire dans ces courbes la notion du temps par les procédés ordinaires de la chrono-photographie, c'est-à-dire au moyen d'éclairages intermittents. La trajectoire prend alors l'aspect d'une courbe ponctuée dans laquelle l'intervalle entre deux points successifs correspond à un cinquantième de seconde.

Nouveau procédé pour obtenir la liquéfaction de l'oxygène; par M. Cailletet.

L'éthylène liquide dont j'ai fait connaître la préparation et l'emploi (1) donne en bouillant à la pression de l'atmosphère une température d'au moins —103° qui ne diffère que d'une dizaine de degrés de la température critique de l'oxygène (—113°). On comprend qu'en détendant de l'oxygène comprimé et refroidi dans l'éthylène bouillant, l'abaissement de la température résultant de la détente m'ait permis de constater « une ébullition tumultueuse qui persiste pendant un temps appréciable ». En ménageant la détente de façon à conserver dans le tube une certaine pression, on observe pendant quelque temps l'oxygène complètement liquéfié.

Lorsqu'on active l'évaporation de l'éthylène liquide au moyen de la machine pneumatique, ainsi que Faraday l'avait fait pour le protoxyde d'azote et l'acide carbonique, on abaisse sa température bien au-dessous du point critique de l'oxygène.

J'ai cherché à éviter les inconvénients et les complications qui résultent de l'obligation d'opérer dans le vide et, dans ce but, j'ai indiqué le formène liquide qui permet d'obtenir d'emblée la liquéfaction de l'oxygène et de l'azote (2).

Malgré ces avantages, j'ai pensé qu'à raison des perfectionne-

---

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* t. XCIV, p. 1224; mai 1882.
(2) *Ibid.,* t. XCVIII, p. 1565; juin 1884.

ments que j'ai apportés récemment à la préparation et au maniement de l'éthylène, ce corps devait être préféré au formène, et je suis arrivé à obtenir, au moyen de l'éthylène bouillant dans des vases ouverts, une température suffisamment basse pour amener la liquéfaction complète de l'oxygène.

La préparation de l'éthylène par l'acide sulfurique et l'alcool est souvent entravée par le boursouflement de la matière, ce qui oblige à mettre fin à l'expérience bien avant que le dégagement du gaz soit complet. L'addition du sable, conseillée par Wöhler, ne s'oppose pas toujours à ce boursouflement, que j'ai pu empêcher par l'addition d'une petite quantité de *vaseline*.

J'opère sur 400^{gr} d'alcool, 2000^{gr} d'acide sulfurique et 15^{gr} à 20^{gr} de vaseline. La matière est chauffée dans un ballon de verre de 5^{lit} ou 6^{lit}, au moyen d'un fourneau à gaz muni d'une toile métallique.

Le gaz est lavé dans deux grands flacons de lessive de soude, puis recueilli dans un gazomètre à eau.

On comprime avec ma pompe à piston de mercure l'éthylène desséché par son passage dans un flacon d'acide sulfurique, et on le condense dans des bouteilles d'acier, munies d'un robinet à vis.

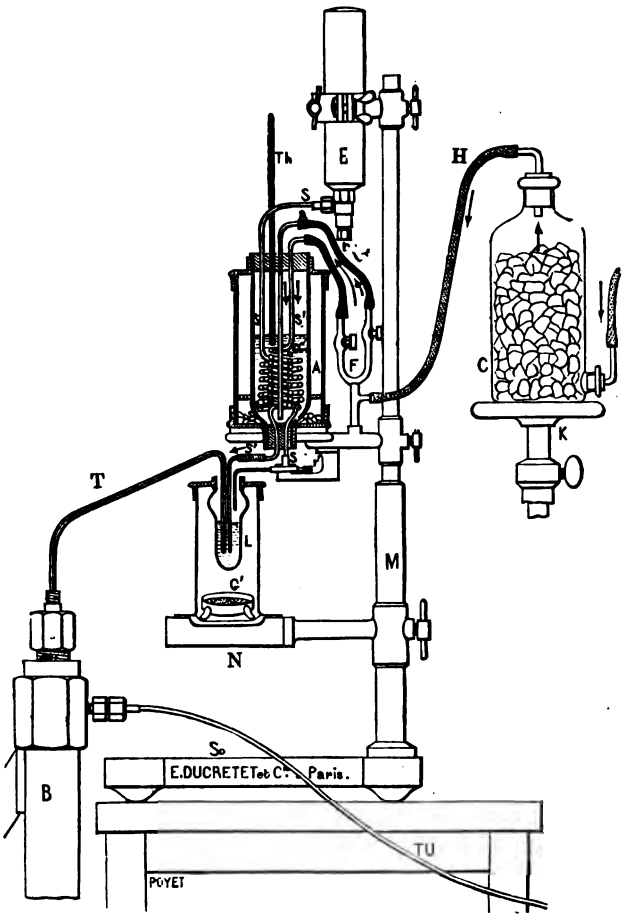
La *fig.* 1 représente l'appareil qui m'a servi à liquéfier l'oxygène par l'évaporation rapide de l'éthylène au moyen d'un courant d'air ou d'hydrogène refroidi.

L'éthylène liquide est renfermé dans la bouteille E, fixée à un support vertical l'orifice dirigé vers le bas et mise en communication avec un serpentin en cuivre SS de 3^{mm} à 4^{mm} de diamètre, fermé à son extrémité inférieure par un robinet à vis r'. En refroidissant à —70° le serpentin au moyen de chlorure de méthyle, ainsi que je l'expliquerai plus loin, l'éthylène qui s'y accumule n'a plus à cette température qu'une faible tension; il peut donc s'écouler sans perte sensible dans l'éprouvette L dès qu'on ouvre le robinet r'. Cette disposition nouvelle que j'ai adoptée pour l'éthylène et le formène permet de refroidir le gaz liquéfié, comme si le réservoir tout entier qui le contient était à la même température que le serpentin.

L'éprouvette en verre L est disposée dans un vase qui contient de l'air desséché par de la ponce sulfurique G' : on empêche ainsi le givre de se déposer sur les parois refroidies.

Dès que l'éthylène est reçu dans l'éprouvette L, on active son évaporation en faisant barboter dans sa masse un courant d'air ou mieux d'hydrogène desséché par son passage dans le vase C qui contient du chlorure de calcium et refroidi dans le serpentin S'.

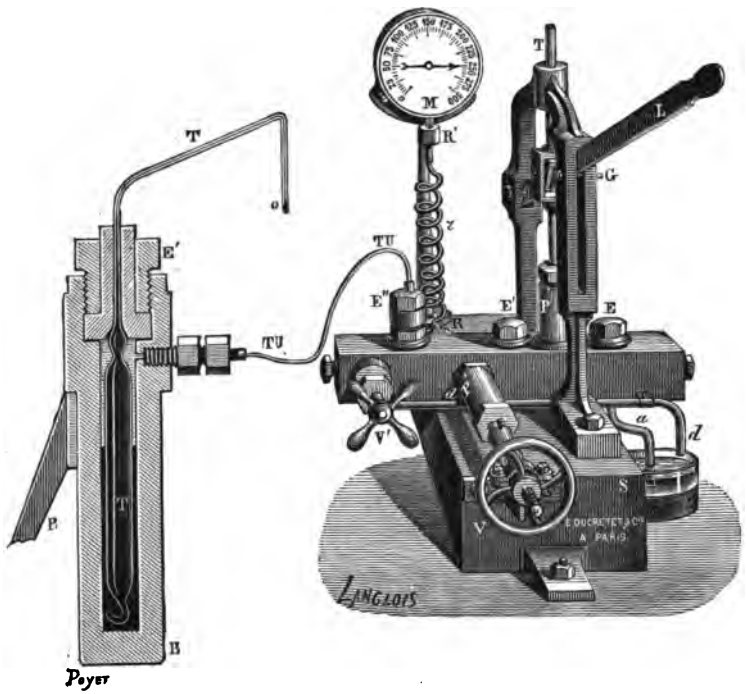
Fig. 1.



Les deux serpentins dans lesquels circulent l'air et l'éthylène sont plongés dans du chlorure de méthyle qu'on évapore rapidement au moyen d'air sec et froid : on obtient ainsi une température de —70°.

La *fig.* 2 représente la disposition de l'appareil à oxygène et de la pompe à compression. Dès que le tube T*o* est plongé dans l'éthylène, on active l'évaporation en ouvrant lentement le robinet F qui amène dans sa masse l'air ou l'hydrogène refroidi dans le serpentin S'.

Fig. 2.



On fait alors agir la pompe, et l'oxygène se résout en un liquide incolore, transparent et séparé du gaz qui le surmonte par un ménisque absolument net.

J'ai mesuré, au moyen d'un thermomètre à hydrogène dont je ferai connaître prochainement la construction, la température de l'éthylène qui, dans une de mes expériences, a été trouvée de —123°. J'espère qu'avec quelques modifications apportées à l'appareil cette température pourra encore être abaissée.

En résumé, j'ai constaté qu'en activant l'évaporation de l'éthylène au moyen d'un courant d'air ou d'hydrogène fortement refroidi, on abaisse sa température bien au-dessous du point critique

de l'oxygène, qui, dans ce milieu, se liquéfie de la manière la plus nette (1).

Cette expérience est tellement facile à exécuter, qu'elle peut entrer dès aujourd'hui dans la pratique des laboratoires et être répétée dans les cours publics.

Les appareils que j'ai décrits ont été construits avec beaucoup de soin par M. Ducretet, et c'est au laboratoire de Physique de la Sorbonne que j'ai exécuté mes expériences, grâce à la bienveillance de M. Jamin.

SÉANCE DU 15 MAI 1885.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1er mai est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Arragon, Professeur au Lycée de la Guadeloupe.
Benavente y Montalvo (Antonio), Professeur de Physique à Rioseco (province de Valladolid), Espagne.
Mendelssohn, Docteur en Médecine.
Neuburger, Professeur au Lycée d'Orléans.
Peuchot, Dessinateur-graveur, à Paris.

M. le Président annonce à la Société la perte que la Science française vient de faire en la personne de M. Desains, Membre de l'Institut, professeur à la Sorbonne.

M. Gernez rappelle qu'il a précédemment attiré l'attention de la Société sur la production des cristaux octaédriques et prismatiques de soufre. Il a fait voir qu'on peut, dans du soufre en surfusion, provoquer à toute température la production de deux espèces de cristaux par le contact d'une parcelle de même forme. Il a démontré que la forme stable du soufre pour les températures inférieures à 97° est l'octaèdre, et pour les températures supérieures le prisme; mais que l'on peut conserver au-dessus de 97°,

---

(1) M. E. Sainte-Claire Deville, ingénieur de la Compagnie parisienne du gaz et fils de mon illustre maître, a étudié, d'après mon conseil, il y a quelque temps déjà, l'abaissement de température qui résulte de la rapide évaporation du chlorure de méthyle. M. Deville a constaté qu'en refroidissant suffisamment l'air injecté, on peut maintenir à peu près constantes, pendant plusieurs heures, des températures variant de —23° à —72°.

jusqu'au point de fusion, des cristaux octaédriques : il a nommé *surchauffe cristalline* l'état du soufre dans ces conditions. Le fait inverse, c'est-à-dire la persistance à la température ordinaire du soufre prismatique, est bien connu depuis très longtemps et a été récemment désigné par M. Mallard sous le nom de *surfusion cristalline*. C'est à propos de la surfusion cristalline que M. Gernez signale un certain nombre d'observations nouvelles.

Le soufre, étant maintenu à l'état de surfusion cristalline, se transforme spontanément, quelquefois tout de suite, d'autres fois, après un certain temps, en soufre octaédrique. Mais si l'on vient à le toucher avec un cristal octaédrique, la transformation est immédiatement provoquée et se développe rapidement. Au point touché, le soufre primitivement transparent se dévitrifie, une masse opaque apparaît et s'étend progressivement à toute la matière en affectant une forme nettement octaédrique.

M. Gernez a étudié la vitesse de propagation de cette transformation. Elle varie suivant les conditions dans lesquelles on opère. Voici comment se fait l'expérience. On chauffe du soufre à une température T supérieure à la température de fusion et on le maintient à cette température pendant une durée connue. On le porte ensuite et on le maintient un temps connu à une température t, inférieure à la température de fusion. On le fait cristalliser sous la forme prismatique. Enfin, on étudie à la température θ sa transformation en soufre octaédrique.

Si l'on fait varier T, t et θ on observe que la vitesse de transformation augmente lorsque θ diminue, passe par un maximum pour une certaine température, puis décroît avec θ. Cette vitesse décroît constamment lorsque t ou T augmente. Enfin l'action prolongée des températures T et t la fait aussi diminuer.

Si, après avoir opéré une première fois sur du soufre natif, on soumet le même soufre à une seconde expérience, la vitesse de transformation est considérablement diminuée. Si l'on recommence plusieurs fois, la vitesse continue à décroître en tendant vers une limite. Abandonné à lui-même, un soufre ainsi modifié par une série d'opérations ne revient jamais à son état primitif.

Les expériences de M. Gernez mettent en évidence un certain nombre de résultats qui concordent avec ceux qu'il avait déduits de ses expériences antérieures sur la vitesse de solidification du soufre et la surchauffe du soufre octaédrique; elles montrent : 1° que le soufre maintenu à température constante éprouve une modification qui *varie* avec la durée de l'expérience; 2° que le soufre liquide, chauffé à des températures différentes et ramené toujours à l'état liquide à la température initiale, éprouve aussi une modification permanente; 3° que le soufre solide d'une forme déterminée étant chauffé puis ramené à la même forme et à la même température, a éprouvé une transformation que le phénomène de la cristallisation ne fait nullement disparaître. Ces résultats prouvent que la forme cristalline ne suffit pas pour caractériser l'identité de deux échantillons d'une même substance.

M. E. Mercadier s'est proposé de vérifier pour les plaques élastiques circulaires, comme il l'avait fait l'année dernière pour les lames rectangulaires, la loi

$$n = K \frac{e}{d^2}, \tag{1}$$

où e représente l'épaisseur, d le diamètre et K un coefficient fonction de la densité et du coefficient d'élasticité.

Il décrit un appareil de MM. Th. et A. Duboscq qui a servi à projeter les expériences pendant la Communication, et qui est destiné à projeter des figures produites sur des lames horizontales plus ou moins réfléchissantes. Un faisceau de lumière oxhydrique, réfléchi par une glace sans tain inclinée à 45°, est concentré par une lentille sur la lame en question (la portion du faisceau qui traverse la glace est arrêtée par un écran noir) : le faisceau réfléchi de bas en haut passe à travers la glace, et il est recueilli par une lentille destinée à produire une image nette de la surface de la lame : à l'aide d'un prisme à réflexion totale interposé, cette image vient se former sur un écran vertical à une distance de 3^m ou 4^m. On montre ainsi la projection d'une figure acoustique de Chladni sur une plaque rectangulaire en laiton poli, et une figure sur une plaque carrée en laiton nickelé.

M. E. Mercadier indique et montre le mode d'entretien électrique qu'il applique aux lames circulaires de fer ou d'acier pour en évaluer exactement le nombre des vibrations en les enregistrant sur un chronographe. En appliquant cette méthode à des disques de fer doux de $1^m,5$ et de 1^{mm} d'épaisseur, la formule (1) ne s'applique qu'avec des écarts de 3 à 6 pour 100. Les lames d'épaisseur moindre donnent des résultats encore plus défectueux.

Les lames du meilleur acier qu'on puisse trouver donnent de bons résultats quand leur épaisseur dépasse 1^{mm} : au-dessous de cette dimension, la discordance entre les résultats de la théorie et de l'expérience s'accentue de plus en plus. M. Mercadier indique les nombres qu'il a trouvés à ce sujet en étudiant les disques de 1^{mm}, $0^{mm},70$ et $0^{mm},50$ d'épaisseur et d'où résultent des erreurs de 7,16 et jusqu'à 24 pour 100.

Cette discordance est due à la constitution intérieure du fer et de l'acier au point de vue chimique et physique, qui fait que sa masse est dissymétrique par rapport aux divers diamètres. Cette dissymétrie se manifeste très simplement lorsqu'on essaye de produire la ligne nodale circulaire relative au premier harmonique des lames circulaires, en posant celles-ci sur trois pointes en liège formant les sommets d'un triangle équilatéral inscrit dans cette nodale : au lieu du cercle qui correspondait à une homogénéité parfaite de la masse, on obtient le plus souvent des cercles déformés, des ellipses, des sortes d'ovoïdes, des triangles curvilignes, des hexagones irréguliers, et même aucune figure nette. M. Mercadier montre la projection de figures de ce genre sur des lames de fer et d'acier.

M. Sébert croit que les différences de valeur du coefficient d'élasticité,

présentées par les plaques d'acier que M. Mercadier a étudiées, doivent provenir de variations dans la trempe. Ces variations de trempe donnent lieu à des tensions moléculaires qui disparaîtraient par le recuit. On pourrait aussi les expliquer par les différences de texture chimique présentées par les diverses parties d'une même masse d'acier.

M. Le Chatelier admet que des solutions de continuité, produites dans le métal des plaques par des soudures ou des bulles, peuvent suffire à expliquer les différences observées.

Sur le phénomène de la surfusion cristalline du soufre et sur la vitesse de transformation du soufre prismatique en octaédrique; par M. Désiré Gernez.

J'ai établi précédemment (1) que le soufre octaédrique peut être produit et conservé sans changement de forme à toutes les températures jusqu'à son point de fusion, mais qu'au delà d'une température voisine de 97°,6 et variable avec les opérations antérieures auxquelles il a été soumis, il éprouve *nécessairement,* lorsqu'il est en contact avec une parcelle de soufre prismatique (monosymétrique), une transformation en éléments prismatiques. J'ai proposé de désigner, sous le nom de *surchauffe cristalline,* l'état d'équilibre instable où se trouve le soufre octaédrique entre la température de 97° et son point de fusion. J'ai mesuré la marche des cristaux d'une forme en l'autre dans des conditions très diverses et montré que cette étude peut mettre en évidence les modifications isomériques que le soufre a éprouvées.

Le phénomène inverse du précédent, changement du soufre prismatique en octaédrique, présente, pour des températures décroissantes, un retard analogue à celui qui se manifeste avec l'autre pour des températures croissantes : les prismes refroidis après leur production sont susceptibles de se changer en éléments octaédriques; mais cette transformation ne se produit pas forcément dès qu'ils sont à la température où elle est possible, et

---

(1) *Comptes rendus,* t. XCVIII, p. 810 et 915, et *Séances de la Société de Physique,* année 1884, p. 79.

M. Mallard a récemment proposé (¹) de nommer *surfusion cristalline* l'état d'équilibre instable du soufre prismatique aux températures où il peut éprouver, mais où il n'a pas encore subi cette modification. Cet état présente des singularités qui me paraissent n'avoir jamais été signalées, et c'est ce qui m'engage à faire connaître les résultats des recherches systématiques que j'ai pu effectuer sur ce phénomène en mettant à profit la propriété qu'ont les cristaux octaédriques de provoquer *à coup sûr* la transformation des prismes en octaèdres dans les limites de température où la forme octaédrique est la seule qui soit stable.

Tout le monde a observé la dévitrification des prismes de soufre produits par fusion; mais ceux qui ont apporté quelque attention au phénomène ont dû être frappés des anomalies qu'il présente, anomalies qui tiennent, comme on le verra plus loin, à ce que toutes les circonstances extérieures ont une influence notable sur le fait observé qui est variable avec elles. Les difficultés de l'interprétation des résultats seraient inextricables si l'on n'opérait dans des conditions définies avec une extrême précision. C'est ce que je me suis efforcé de faire. A cet effet, employant un dispositif analogue à celui que j'ai décrit antérieurement, je me suis servi, comme matière première, de soufre octaédrique natif ou cristallisé dans le sulfure de carbone, puis pulvérisé lentement et chauffé vingt-quatre heures dans une étuve où il perdait les dernières traces de sulfure de carbone à une température d'environ 90°, inférieure à celle où les octaèdres peuvent se changer en prismes.

On introduit cette poussière dans des tubes de verre cylindriques extrêmement minces et de 1^{mm} à 2^{mm} de diamètre; puis on élimine les poussières adhérentes aux parois externes du tube en les brûlant dans un courant d'air sec et chaud amené par une sorte de long entonnoir en verre filé.

Le soufre étant fondu à une température T maintenue constante pendant un temps τ, on retire le tube du bain de fusion et on le fait rapidement passer dans le bain de surfusion à la température t où il séjourne un temps τ'; on touche alors le liquide avec un cristal prismatique porté à l'extrémité d'un fil de platine, et des prismes se développent aussitôt d'un bout à l'autre du tube. On le

(¹) *Journal de Physique*, 2ᵉ série, t. II, p. 217.

transporte alors dans le bain à la température θ où l'on étudie la transformation. On la provoque au moyen d'un petit cristal octaédrique que l'on écrase à la surface du soufre prismatique et l'on peut en suivre les progrès.

En procédant de cette manière, on opère dans des conditions nettement définies et sur du soufre prismatique dont on connaît les circonstances de production. Ces circonstances peuvent être très diverses et même nouvelles, car, sous l'influence d'un germe cristallin, il est facile de provoquer dans le liquide surfondu la formation des prismes non seulement aux températures supérieures à 97° où ils sont stables, mais aussi à des températures bien inférieures à cette limite et où la forme prismatique est instable.

Dans ces expériences, si, au lieu d'écraser un cristal octaédrique à la surface du soufre prismatique, ce qui produit un grand nombre de centres de transformation, on agit avec assez de précaution pour n'amener au contact de cette surface qu'une pointe d'octaèdre, on voit bientôt, dans le solide translucide, avancer graduellement une masse opaque de forme nettement octaédrique qui gagne peu à peu l'ensemble du soufre prismatique : cette propagation se distingue souvent avec une netteté presque aussi grande que le développement de cristaux octaédriques dans le liquide surfondu.

Cette dévitrification présente des caractères particuliers lorsqu'on opère sur du soufre que l'on a fondu à une température peu éloignée du point de fusion, à 130° par exemple, mais solidifié en prismes vers 90° et que l'on maintient à une température peu inférieure à 97°; vient-on à provoquer la dévitrification à cette température de 85° à 90°, on la voit se propager à l'opacité relative qui se manifeste dans la masse translucide; mais, si au bout de quelque temps on abaisse la température, on constate bientôt que tout le reste des prismes s'est dévitrifié et l'on est surpris de trouver que la région transformée antérieurement semble relativement translucide. On peut interpréter ce résultat en remarquant que, la transformation des prismes en octaèdres étant accompagnée d'un dégagement de chaleur, il peut se faire qu'à une température suffisamment élevée il se produise une agglutination des éléments octaédriques, lesquels restent disjoints lorsqu'ils ont été formés à basse température.

Du reste, lorsqu'on provoque la transformation du soufre pris-

matique en éléments octaédriques par le contact d'un octaèdre, on reconnaît que, dans des tubes cylindriques dont toutes les parties ont été rigoureusement soumises aux mêmes influences extérieures, le phénomène progresse de longueurs égales en des temps égaux. La longueur de la partie dévitrifiée pendant l'unité de temps est donc une constante que l'on pourrait nommer *vitesse de dévitrification du soufre prismatique*. La mesure de cette quantité ou bien celle du temps écoulé pendant que la longueur de la partie dévitrifiée augmente de 10^{mm} permettra d'apprécier l'influence des diverses circonstances extérieures sur le phénomène.

Je vais indiquer sommairement les principaux résultats de cette étude :

1° *Influence de la température ambiante sur la vitesse de la transformation.* — On aura une idée de cette influence en comparant les résultats suivants (¹) d'observations effectuées sur des tubes dans lesquels le soufre fondu à 129°,5 et maintenu dans le bain de fusion pendant cinq minutes a été introduit dans un autre bain à 88°,9, où il a été mis en surfusion pendant cinq minutes, puis solidifié en prismes, transporté aussitôt après dans des bains à températures constantes, et enfin touché par un octaèdre amené à la surface libre du soufre prismatique :

Températures.	Durées de la transformation.
°	m s
—23,0	500.00
—10,0	347.00
0,0	130.00
+12,9	88.13

(¹) Relativement à la détermination des nombres qui figurent dans ce Tableau, je dois faire une remarque importante sur la production de la dévitrification. Le contact d'une parcelle octaédrique provoque, immédiatement et à coup sûr, la transformation des prismes à partir du point touché, mais il peut arriver, surtout si le soufre sur lequel on opère passe rapidement d'une température à une autre qui lui soit très inférieure, que la dévitrification se produise en un ou plusieurs points de la masse, sans doute par un effet mécanique provoqué par la variation brusque de température; il faut donc s'assurer qu'il n'y a pas dévitrification accidentelle et, pour cela, suivre attentivement les progrès de la transformation à partir du point où on l'a provoquée : si l'on perdait de vue le tube pendant un certain temps et qu'il se produisît de nouveaux centres de dévitrification, on s'exposerait à de graves erreurs.

Températures.	Durées de la transformation.
14°,6	78m.57
29,8	23.30
30,5	21. 0
32,4	19.11
37,8	16.29
40,0	15.32
42,7	13.20
44,0	12. 5
44,7	11.37
47,1	11.34
51,0	11.25
54,7	11.54
55,1	12.30
59,1	14.43
62,7	15. 0
71,4	18.11
87,6	47. 3
88,0	50.46
89,0	63.10
91,0	137. 0
94,0	243.45
94,6	570. 0
95,1	1680. 0

Ainsi, conformément aux prévisions, la transformation est très lente dans le voisinage de la température de 97° où elle cesse d'être possible, et elle est plus rapide quand on la provoque à des températures décroissantes; mais, ce qu'on ne pouvait prévoir, elle est aussi très lente aux basses températures. Dans l'intervalle, la vitesse passe par un maximum, et les températures les plus favorables à la transformation des prismes, dans des conditions que j'ai définies, sont comprises entre 44° et 55°.

2° *Influence de la température à laquelle les prismes ont été produits.* — Pour montrer cette influence, je citerai quelques séries d'expériences faites avec des tubes chauffés cinq minutes à 129°,5, portés dans des bains de surfusion à des températures différentes, où ils sont restés cinq minutes après lesquelles on a solidifié le soufre en prismes; pour tous les tubes de la même série la dévitrification était étudiée à la même température.

Températures des bains de surfusion.	Durées de la dévitrification pour 10mm.	Températures de la dévitrification.
	Première série.	
78°,9	13m.16s	44°,8
87,8	20.22	»
100,1	30.59	»
114,0	81.48	»
	Deuxième série.	
79°,3	9m.50s	49°,6
88,4	18.45	»
100,0	30. 0	»
112,2	50. 0	»
	Troisième série.	
75,8	5. 5	52,6
89,4	12. 0	»
99,8	27.16	»
111,5	54.16	»

On reconnaît, à l'examen des nombres de ce Tableau, que la durée de la dévitrification est, toutes choses égales d'ailleurs, d'autant plus petite que les prismes ont été produits aux plus basses températures. Ce résultat concorde avec ce qu'on pouvait prévoir relativement à l'instabilité des prismes produits à des températures où leur formation a été pour ainsi dire forcée par le contact d'un cristal de même forme.

Mais cette conclusion n'est relative qu'au soufre qui a été fondu à une température peu supérieure à son point de fusion; les choses se passeraient autrement si le soufre était chauffé à haute température, ainsi qu'il résulte des deux séries d'expériences suivantes, dans lesquelles le soufre est resté cinq minutes dans le bain de fusion, dix minutes dans le bain de surfusion où l'on a provoqué la solidification de prismes, qui ont été transportés dans un milieu à température constante de 13° et touchés par un octaèdre; la dévitrification suivie pendant plusieurs jours a donné les résultats suivants :

Températures du bain de fusion.	Températures du bain de surfusion.	Durées de la dévitrification pour 10mm.
152°,5	88°,9	19h.23m
»	100,1	16. 9
259,0	88,9	84. 0
»	100,1	64. 0

Ainsi, les prismes produits à une température où ils sont stables se dévitrifient plus rapidement que ceux qui ont pris naissance dans des conditions où ils sont instables. Ce résultat montre qu'il s'est produit, dans le soufre fortement chauffé, un changement moléculaire autre que les précédents : nous l'étudierons plus loin.

3° *Influence de la durée du séjour des prismes dans le bain où ils ont pris naissance.* — Des expériences très variées montrent que la durée du séjour des prismes dans le bain où l'on a déterminé leur production a une influence notable sur la durée de la dévitrification. Cette durée diminue lorsque le temps augmente, comme on peut en juger à l'inspection des nombres contenus dans le Tableau suivant, relatifs à des tubes chauffés cinq minutes à 129°,5, immergés dans le bain de surfusion et solidifiés en prismes; puis, l'un d'eux restant dans ce bain, l'autre était amené dans un autre milieu à température constante où l'on provoquait la transformation en éléments octaédriques; l'autre tube était ultérieurement traité de même et dans les mêmes conditions.

Durées du séjour dans le bain de surfusion.	Température du bain de surfusion.	Température du bain de dévitrification.	Durées de la dévitrification pour 10mm.
0h. 5m	89°,2	34°,8	23m. 5s
0.35	»	»	7. 8
0. 5	81,0	43,1	17.51
1. 5	»	»	5.33
0. 5	89,7	67,8	25. 0
4. 5	»	»	7.24
0. 5	99,8	43,1	44. 7
4. 5	»	»	17.20
5.55	»	»	17. 2

On peut conclure de l'examen de ces nombres qu'il se produit

dans le soufre cristallisé prismatique soumis à l'action prolongée de la chaleur et *à température constante* un changement qui facilite la transformation ultérieure en octaèdres. Cet effet, déjà très marqué au bout de quelques minutes, augmente avec le temps assez vite pour qu'au bout d'une heure ou deux la transformation devienne deux fois plus rapide, mais le phénomène tend vers une limite, comme on le voit à l'examen des nombres de la dernière série, où la durée de la dévitrification ne varie plus sensiblement lorsque la durée du séjour, qui était de quatre heures, a été prolongée de une heure cinquante minutes. Le soufre est alors dans un état stable, qui présente le maximum de facilité pour la transformation.

4° *Influence de la température à laquelle le soufre a été fondu avant d'être solidifié en prismes.* — Elle a pour effet de faire varier beaucoup la durée de la transformation. Voici, en effet, les nombres observés avec du soufre chauffé cinq minutes à diverses températures, puis maintenu quinze minutes à 88°,9 et transformé en octaèdres à 51°,2 :

Températures du bain de fusion.	Durées de la dévitrification pour 10mm.
130°	11m.54s
154	48. 0
177	80. 0
206	133. 0
231	200. 0
265	240. 0

Ce résultat met en évidence le changement moléculaire que le soufre a éprouvé à l'état liquide sous l'influence de l'élévation de température, changement qui persiste non seulement lorsque le soufre liquide est revenu à la température initiale, mais même après qu'il a été entièrement transformé en prismes.

Les durées de la dévitrification ont été, dans les expériences précédentes, mesurées à des températures voisines du minimum; elles ont des valeurs absolues beaucoup plus grandes quand on fait les déterminations aux basses températures. Nous allons donner les nombres obtenus avec du soufre chauffé cinq minutes

au bain de fusion et abandonné dix minutes dans le bain de surfusion à 88°,9, puis solidifié en prismes et amené à la température de 13°, où l'on a étudié la transformation en éléments octaédriques.

Températures du bain de fusion.	Durées de la dévitrification pour 10mm.
°	h m
129,5	3.47
152,5	19.23
178,5	31. 0
213,0	81. 0
259,0	84. 0

On voit que dans ces circonstances la dévitrification est extrêmement lente. Ainsi se trouve mis en évidence un changement moléculaire que le soufre a éprouvé à l'état liquide sous l'influence de l'élévation de la température et qui non seulement ne disparaît pas lorsque le liquide revient à la température initiale, mais modifie les propriétés du soufre, même lorsqu'il est entièrement solidifié en prismes clinorhombiques.

5° *Influence de la durée du séjour dans le bain de dévitrification.* — Dans toutes les expériences précédentes, la durée de la dévitrification pour l'unité de longueur est très sensiblement la même dans chaque tube, depuis le commencement jusqu'à la fin. Les choses se passent autrement lorsque le soufre a été fondu à une température très élevée, solidifié en prismes à basse température, dévitrifié vers 50° et que l'on suit la marche de la dévitrification pendant un certain nombre d'heures. On reconnaît alors que la durée de la dévitrification pour l'unité de longueur diminue assez régulièrement avec le temps ; de plus, si l'on compare la marche du phénomène dans des tubes qui ont été portés à des températures très différentes, les durées qui avaient des valeurs initiales très inégales tendent au bout d'un certain temps vers des valeurs presque identiques. Le Tableau suivant résume des expériences faites sur trois tubes chauffés cinq minutes à 190°, 210° et 265°, immergés ensemble dans un bain à 88°,9 où ils ont séjourné dix minutes, après lesquelles on les a solidifiés en prismes, puis transformés en octaèdres à 48° :

Moyenne des durées de la dévitrification pour 10mm.	Tube chauffé à 190°.	à 210°.	à 265°.
	m s	m s	m s
Pendant les trois premières heures...	78.56	88.34	150. 0
Pendant la quatrième heure.....	65.33	69.34	100. 0
» la cinquième »	52.10	50. 0	88.53
» la sixième »	31.34	38. 0	66.40
» la septième »			38.20

Après sept heures, le soufre des trois tubes était donc sensiblement dans le même état.

6° *Influence de la durée du séjour dans le bain de fusion.* — Si l'on fait varier la durée du séjour dans le bain de fusion, toutes choses étant égales d'ailleurs, on constate que la durée de la dévitrification change beaucoup : on peut s'en assurer en comparant les nombres suivants, obtenus avec du soufre fondu à 129°,5, mis ensuite cinq minutes dans le bain de surfusion à 88°,4, solidifié en prismes, puis dévitrifié à 47° :

Durées du séjour dans le bain de fusion.	Durées de la dévitrification pour 10mm.
m	m s
5	12.47
10	16.49
20	33.20
30	47. 7
60	96.46

On voit ainsi, mise en évidence, l'influence qu'exerce la chaleur appliquée à *température constante* sur le soufre liquide auquel elle communique une modification assez profonde pour qu'on puisse la mettre en évidence, même après solidification complète du soufre en cristaux prismatiques.

7° *Influence des opérations antérieures auxquelles le soufre a été soumis.* — Dans tout ce qui précède, j'ai supposé que le soufre soumis à l'expérience était formé d'octaèdres n'ayant pas été fondus. Lorsqu'il a subi la fusion et qu'on l'a solidifié, il donne des résultats de même ordre, mais de grandeurs différentes. Pour donner une idée des effets produits par des fusions et solidifications

successives, je transcrirai les résultats dans deux des séries d'expériences que j'ai effectuées sur du soufre qui chaque fois a été fondu à 130°, laissé dans le bain de fusion cinq minutes, mis en surfusion cinq minutes à 90°,1, solidifié en prismes, mis dans le bain de dévitrification à 46°,2 et touché par un octaèdre :

		Durées de la dévitrification pour 10mm.
	Première série.	m s
Première opération :	Soufre neuf	13.30
Deuxième »	Après quatre heures de séjour dans le bain à 46°,2	24.25
Troisième »	Immédiatement après	65.12
Quatrième »	Immédiatement après	136.11
Cinquième »	Après 45 jours à 12°	73. 8
Sixième »	Après quatre heures de séjour dans le bain à 46°,2	98. 0
Septième »	Après deux heures de séjour dans le même bain	142.51
	Deuxième série.	m s
Première opération :	Soufre neuf	13. 0
Deuxième »	Après 81 jours à la température de 12°	75. 0
Troisième »	Après une heure trente minutes à 46°,2	83.20
Quatrième »	Après quatre heures à 46°,2	89.33
Cinquième »	Après quinze minutes à 46°,2	122.27
Sixième »	Après 10 jours à 12°	115.25
Septième »	Après cinq heures à 46°,2	142.51
Huitième »	Après 45 jours à 12°	134. 0
Neuvième »	Après quatre heures à 46°,2	133.20

Ainsi, après une seule dévitrification remontant même à quatre-vingt-un jours, le soufre ne revient nullement à l'état initial : la durée de la dévitrification des prismes qu'on en obtient après fusion est alors environ six fois plus grande que si le soufre n'avait pas été une première fois fondu et transformé en prismes. De plus, les fusions et solidifications successives ont pour effet d'augmenter la durée de la transformation, mais non indéfiniment, ce qui indique que la modification qui s'est produite dans la constitution du soufre s'accuse davantage ; du reste, au bout de quelques jours, la durée

de la dévitrification est toujours plus faible à la première opération que l'on fait de nouveau subir au soufre, ce qui prouve que le changement qu'il a éprouvé s'atténue avec le temps.

Si l'on considère ce qui se passe pour le même soufre que l'on soumet plusieurs fois à des séries de fusions, solidifications et dévitrifications successives, on constate que l'effet de la première série d'opérations est le plus prononcé; que dans une deuxième série d'opérations succédant à un repos d'un certain nombre de jours, les variations de la durée de la dévitrification sont moindres; que, dans une troisième série, elles sont négligeables, ce qui est un indice que le soufre a été amené, dans ces conditions, à un état stable caractérisé par une vitesse de dévitrification sensiblement constante qui, aux températures des expériences précédentes, correspond à une durée de cent quarante-deux minutes environ par 10^{mm}.

En résumé, l'étude un peu complexe dont je viens de présenter un aperçu sommaire met en évidence le fait du développement de volumineux octaèdres orthorhombiques de soufre, se propageant au sein d'une masse solide dont les éléments sont des prismes clinorhombiques; elle montre : 1° que la vitesse de la dévitrification des prismes n'est pas toujours d'autant plus rapide qu'on la détermine à une température plus basse, mais qu'il y a une température plus favorable que les autres à la transformation, température qui est sans doute en relation avec quelque autre propriété du soufre; 2° que la forme cristalline du soufre ne suffit pas pour définir l'identité de la substance, puisque nous constatons des différences considérables présentées par des échantillons de même forme cristalline; 3° que l'action de la chaleur s'exerçant à température constante sur du soufre liquide y provoque un changement qui augmente avec le temps, et qui ne cesse pas même lorsque le soufre a été solidifié; 4° qu'en chauffant le soufre liquide à partir d'une température donnée, puis en le ramenant à la même température, on lui fait subir une modification se traduisant par des changements de propriétés qui se manifestent même après solidification de la substance; 5° que le soufre primitivement octaédrique que l'on fond, solidifié en prismes, puis ramené à l'état d'éléments octaédriques, n'a plus ses propriétés primitives et que le changement qu'il a éprouvé persiste presque complètement,

même lorsqu'il a été conservé plusieurs mois à la température ordinaire.

Ces résultats concordent avec ceux auxquels m'ont conduit la détermination de la vitesse de cristallisation des diverses variétés de soufre et l'étude de la surchauffe cristalline du soufre octaédrique. Ils précisent les conditions de leur transformation réciproque et ils établissent que non seulement la forme cristalline ne caractérise pas rigoureusement l'état physique du corps solide, mais aussi que, même à l'état liquide, un corps pur de tout élément étranger peut, suivant les opérations antérieures auxquelles il a été soumis, présenter un ensemble de propriétés très différentes.

SÉANCE DU 5 JUIN 1885.

PRÉSIDENCE DE M. MAREY.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 mai est lu et adopté.

M. le Président annonce que M. le Ministre de l'Instruction publique a bien voulu accorder à la Société une allocation de 240^{fr}, pour la publication des Mémoires.

M. Mendelssohn a étudié la force électromotrice et la direction du courant nerveux axial. Il nomme ainsi tout courant qui résulte de la différence de potentiel électrique de deux surfaces de sections transversales d'un nerf. La force électromotrice de ce courant, évaluée d'après la méthode de réduction à zéro de Poggendorff (modifiée par du Bois-Reymond), est de $0^{volt},00122$ à $0^{volt},00352$; en réalité, elle n'est qu'une différence algébrique des forces électromotrices de deux courants dérivés entre chaque surface de sections transversale et l'équateur électromoteur du nerf (courants transverso-longitudinaux). Cet équateur est toujours plus rapproché de la surface de section transversale, plus négative, qui se trouve constamment dans le bout central des nerfs doués d'une fonction centrifuge, et dans le bout périphérique des nerfs, dont la fonction est centripète; il en résulte une différence de direction du courant axial suivant qu'un nerf fonctionne physiologiquement dans un sens ou dans l'autre. M. Mendelssohn est arrivé ainsi à formuler la loi suivante : La direction du courant axial d'un nerf est opposée au sens de sa fonction physiologique.

M. de Romilly expose à la Société un perfectionnement apporté à des

appareils à faire le vide, déjà décrits dans les *Séances de la Société de Physique* (année 1881, p. 93). Ce perfectionnement intéresse tous les appareils à entraînement d'air, par un jet d'eau ou de mercure. Il consiste dans la substitution d'une fente circulaire à l'orifice circulaire employé jusqu'ici. Par ce moyen on a : 1° meilleure utilisation du jet, puisqu'il n'agit que par sa périphérie; 2° accroissement simultané du résultat et du travail, la fente conservant toujours même largeur absolue quel que soit son diamètre extérieur. Un appareil à main de ce type est mis en expérience après la séance. Le vide barométrique est obtenu en six minutes dans une capacité de 600^{cc} environ. Le baromètre de comparaison était un Tonnelot à large cuvette portant le contrôle du Bureau central météorologique.

L'accroissement proportionnel du résultat et du travail permet de répandre dans l'industrie un appareil réservé jusqu'ici au laboratoire.

L'auteur fait remarquer que, pour obtenir le vide barométrique, ces appareils ne nécessitent l'emploi d'aucune matière desséchante.

MM. Cailletet et Bouty ont étudié la variation de conductibilité électrique du mercure et des métaux purs aux très basses températures, que l'on obtient à l'aide d'un courant de bulles d'air dans le chlorure de méthyle pur ou mêlé de neige carbonique et dans l'éthylène.

Les mesures électriques étaient effectuées par la méthode du pont de Wheatstone. Toutes les températures étaient mesurées par un thermomètre à hydrogène observé à volume constant. Voici les principaux résultats :

1° Le mercure en se solidifiant devient quatre fois plus conducteur (4,08 à — 40°). Sa résistance à l'état solide croît ensuite régulièrement, à mesure que la température s'abaisse, avec un coefficient qui est sensiblement le même que celui des autres métaux purs ($\alpha = 0,00407$).

2° La résistance r_t d'un métal solide est bien représentée entre 0 et — 100° par la formule

$$r_t = r_0(1 + \alpha t);$$

les valeurs de α pour l'argent, l'aluminium, le magnésium, l'étain et le cuivre varient de 0,00385 à 0,0042.

3° On peut substituer la mesure d'une résistance électrique à celle de la température entre 0° et — 100°, à la condition d'avoir déterminé, par des expériences préliminaires, la valeur de α qui caractérise la spirale métallique employée. L'erreur maximum que l'on peut ainsi commettre ne dépasse pas 1°.

La température la plus basse que l'on ait employée dans ces recherches est de — 123°. On se propose d'étendre ce travail à des températures plus basses.

M. Mascart communique quelques remarques sur la théorie de la machine de Gramme. Pour simplifier le problème, on peut admettre que

le champ magnétique extérieur est invariable, que le fer doux s'aimante sans retard et que l'aimantation produite par le courant de la bobine se superpose à celle qui provient du champ extérieur. Dans ces conditions la force électromotrice de la machine est indépendante, par raison de symétrie, de l'aimantation produite par le courant : elle ne dépend que du flux total de forces coupé par les boucles de la bobine entre les deux balais.

La résistance du circuit doit être augmentée, comme l'a montré M. Joubert, d'une résistance fictive qui correspond au travail électrique perdu dans chaque boucle, quand elle est supprimée du circuit au moment de passer d'un des secteurs de l'anneau au secteur opposé.

Quant au déplacement des balais, il est réglé par cette condition que deux lames de contact, appartenant à deux boucles voisines, soient au même potentiel au moment où l'une d'elles se détache du balai, afin de supprimer les étincelles de rupture. La boucle correspondante doit alors renfermer une force électromotrice d'induction capable d'y produire le courant général.

M. Hillairet pense, contrairement à l'opinion de M. Mascart, que la réaction de l'aimantation de l'induit sur l'inducteur est loin d'être négligeable. On en tient compte implicitement dans la pratique.

Pour contrôler cette influence, il y a une expérience facile à exécuter et qui réussit avec la plupart des machines dynamo-électriques existantes. Lançons un courant dans l'induit d'une machine, sans exciter les inducteurs : cet induit se mettra à tourner si les balais n'ont pas leurs contacts ou dans le voisinage de la ligne neutre ou sur la ligne des pôles, et si toutefois le moment résistant ne dépasse pas une certaine valeur.

L'explication du phénomène est simple, et montre qu'on ne doit pas négliger cette influence dans l'étude du régime des machines génératrices, ou réceptrices, dans lesquelles les balais ont leurs contacts soit en retard, soit en avance sur la ligne neutre, c'est-à-dire dans une position généralement favorable à la réaction de l'aimantation de l'induit sur les masses inductrices.

M. Cabanellas fait observer que M. Mascart, au cours de sa Communication, vient d'indiquer que l'on devait à M. Joubert une remarque expliquant le *déficit* des dynamos par les recompositions dans chaque spirale induite à chaque révolution.

Sans donner d'ailleurs à son observation la portée d'une réclamation de priorité, M. Cabanellas désire cependant rappeler que longtemps auparavant il avait signalé cette cause, par exemple dans sa première Communication à notre Société.

Dès 1879 il avait, le premier, signalé l'existence du *déficit* des machines à collecteur, et n'avait cessé d'affirmer que la théorie rigoureuse de cet effet présentait des difficultés extrêmement complexes, en raison du grand nombre de réactions distinctes superposées.

Il a signalé notamment les recompositions périodiques de ce qu'il appelait, d'après Gaugain, les charges dynamiques du fil induit, et cet autre effet se prêtant plus difficilement à une traduction algébrique, effet relatif aux charges électrostatiques des sortes de condensateurs dont les armures sont les spires à des potentiels différents séparées par le diélectrique de leur isolant. Il a fait remarquer que l'influence relative de cette réaction nuisible devait croître rapidement avec la finesse d'enroulement de l'anneau.

En fait de répercussion très intéressante par l'importance relative qu'elle peut prendre, il a signalé aussi l'accroissement et la diminution du magnétisme effectif inducteur, causés par la grandeur et le sens de la vitesse du champ électrique de l'anneau.

Quant à l'influence immédiate de la circulation de forts courants dans le fil induit, on sait que cette influence est nuisible parce qu'elle tend à polariser énergiquement l'armature à angle droit de la polarité du fait des inducteurs; ce qui, même avec le déplacement convenable des balais, équivaut à un allongement et à une inclinaison des lignes de force, c'est-à-dire à un affaiblissement du champ magnétique effectif. Cependant, les fortes densités de circulation dans l'induit sont désirables au point de vue de la puissance des dynamos, et c'est pourquoi il croit devoir insister sur l'amélioration, aussi simple qu'importante, réalisée en Angleterre d'abord et consistant à augmenter notablement l'épaisseur de l'armature en allant vers l'arbre; le même courant n'a plus la même influence relative, vu l'accroissement de la masse magnétique, et, de plus, l'expérience a montré que cette transformation augmente beaucoup le champ magnétique *même statique*, sans aucun doute parce que les types primitifs avaient une masse d'armature insuffisante pour conduire magnétiquement un nombre convenable des lignes de force. Dans nombre de types, on a pu ainsi porter du simple au double la puissance de la machine à mêmes électro-inducteurs, à mêmes vitesses et à mêmes courants.

Il fait remarquer combien toutes les considérations théoriques plaident donc en faveur des induits sans noyaux magnétiques.

M. Potier croit que le magnétisme induit par le courant qui circule autour du fer doux joue un rôle important; même dans le cas simple traité par M. Mascart, et dans lequel la force électromotrice totale est en effet la même que si ce courant était supprimé, l'existence de ce courant change la distribution des forces électromotrices induites et, par suite, des différences de potentiel des divers points de l'anneau; il est évident que, pour que ces forces soient toutes de même sens, on devra placer les balais de telle sorte que les lignes de force du champ soient tangentes au cylindre décrit par le fil du circuit mobile aux points où le courant se bifurque; ceux-ci doivent être sur la ligne neutre du fer doux, aux points où la composante radiale du magnétisme résultant de l'aimant inducteur et du courant est nulle.

Ces points se déplacent en général quand l'intensité du courant augmente et peuvent même ne plus exister quand celle-ci dépasse une certaine limite.

Mais dans les machines dynamo-électriques, où celui-ci est sensiblement proportionnel à l'intensité, comme dans la machine type d'atelier de Gramme, leur position est sensiblement constante. En plaçant les balais ainsi, la force électromotrice induite dans une spire, au moment où elle échappe au balai pour rentrer dans le circuit général, est nulle (sauf l'induction de la spire sur elle-même).

L'effet de cette induction est différent suivant que l'on considère une spire même en court circuit par le balai, ou une spire qui échappe à celui-ci; dans le premier cas, l'énergie intrinsèque du courant existant dans la spire se transforme en chaleur; dans le second, l'induction donne lieu à une force électromotrice opposée à celle du circuit général dans lequel entre la spire à égalité de travail extérieur dépensé; une partie de ce travail est employée à produire cette énergie intrinsèque qui est inutilisée dans le circuit général et convertie en chaleur lorsque la spire est fermée en court circuit. Pour éviter les étincelles à la rupture ou au moins les diminuer, on se trouve conduit à placer les balais de telle sorte que la force électromotrice due au champ contre-balance, au moins partiellement, la force électromotrice d'induction de la spire sur elle-même, soit à les avancer encore plus que ne l'indique la règle ci-dessus, et d'un angle croissant avec la vitesse d'une part et le rapport de l'intensité au champ magnétique de l'autre; mais il y a alors une force électromotrice induite très notable induite dans la spire fermée sur elle-même et une quantité très appréciable de chaleur produite dans cette spire de faible résistance. Il y a donc un grand intérêt à diminuer le coefficient d'induction de l'anneau sur lui-même.

Appareil à faire le vide; par M. de Romilly.

J'ai décrit, dans ce Recueil [1], un appareil à faire le vide sous le nom de *pnéole*.

Cet appareil consiste, pour sa partie essentielle, en un jet d'eau ou de mercure partant d'un orifice inférieur et pénétrant dans un orifice supérieur. Ces deux orifices sont circulaires.

Or, dès que l'on s'occupe de ce genre d'appareil, on est frappé de la perte considérable de force qu'il nécessite.

En effet le jet est un cylindre liquide dont la périphérie seule est efficace; toute la partie intérieure du jet est inutile.

On voit aussi immédiatement qu'un appareil semblable ne saurait passer du laboratoire à l'usine et devenir d'un emploi in-

---

[1] *Séances de la Société de Physique,* année 1881, p. 93.

dustriel, puisque, pour en augmenter l'effet, il faut augmenter proportionnellement la périphérie du jet, tandis que la partie intérieure représentant la masse liquide en mouvement, c'est-à-dire le travail, croît comme la section circulaire, c'est-à-dire comme le carré.

Pour obvier à ces défauts deux moyens se présentent : remplacement de l'orifice circulaire, 1° par une fente étroite, 2° par un certain nombre de petits orifices circulaires.

Examinons les deux systèmes :

1° On peut avoir, au lieu des deux orifices circulaires opposés, deux fentes étroites opposées l'une à l'autre et qui, en s'allongeant simultanément sans varier de largeur, donneront à la fois un effet et un travail proportionnels à leur longueur.

Deux fentes semblables en ligne droite seraient d'une exécution très difficile; mais il est une autre disposition facile à réaliser : c'est de se servir des deux orifices circulaires, tels qu'ils ont été antérieurement décrits et d'occuper le centre du jet par un cylindre plein concentrique. On forme ainsi un jet circulaire dont la partie extérieure entraîne l'air. Cette construction est facile à obtenir et elle a été l'objet d'une Communication à la Société de Physique. Un appareil à mercure de cette forme a été expérimenté; il était actionné à la main et a fait le vide barométrique en six minutes environ dans une capacité de 600^{cc}. La capacité consistait en une boule de verre formant la terminaison supérieure d'un tube à large section ($0^{m},02$ de diamètre) plongeant dans une cuve à mercure. Ce tube porte à sa partie inférieure une pointe d'ivoire qui fixe le zéro; la mesure du vide se faisait par une armature à vernier au $\frac{1}{20}$ de millimètre, semblable à celle d'un baromètre qui servait de comparaison. Celui-ci était un baromètre de Tonnelot portant le contrôle du Bureau central météorologique.

Aucune matière desséchante n'est nécessaire pour arriver à ce vide. Le courant d'entraînement étant continu, la vapeur d'eau est expulsée, comme l'air même.

2° L'autre moyen consisterait en une série de petits orifices circulaires à l'ensemble desquels on devra, pour arriver à une comparaison, donner même périphérie et même section qu'à la fente annulaire. Pour juger ce procédé, il suffit d'examiner combien il faudrait de ces petits orifices pour équivaloir à une fente donnée.

Soient

R le rayon extérieur de la fente annulaire;
a la largeur de la fente;
r le rayon des petits orifices;
n leur nombre.

On a

$$R = nr, \quad \pi R^2 - \pi(R - a)^2 = n\pi r^2,$$

d'où l'on tire

$$2Ra - a^2 = nr^2.$$

Divisant par la première équation, on a

$$2a - \frac{a^2}{R} = r;$$

a^2 étant toujours très petit, on peut négliger $\frac{a^2}{R}$.

On a finalement

$$r = 2a, \quad n = \frac{R}{2a}.$$

Si l'on fait la fente d'un quart de millimètre et R de 5^{mm}, comme dans l'appareil qui a été expérimenté, on aura 10 orifices, soit 20 orifices à placer vis-à-vis l'un de l'autre. Si l'on voulait employer des forces plus considérables, par exemple 10 chevaux, force très inférieure à celles employées à faire le vide dans les moindres sucreries, on aura de 2000 à 2400 orifices à établir les uns vis-à-vis des autres. On voit qu'il y a là une difficulté insurmontable dans la pratique.

La fente annulaire étant acceptée, rien n'oblige d'ailleurs de s'en tenir à un seul appareil pour les grandes forces. On pourrait former des unités pour une force de 1 ou de 2 chevaux qui, multipliées selon les besoins, n'amèneraient jamais la répétition excessive du même appareil.

J'ajoute que ce système peut s'appliquer à tout jet liquide servant à l'entraînement de l'air, tel que trompe soufflante ou aspirante. Dans l'entraînement d'un gaz par un gaz, les conditions sont autres et ce système est inapplicable.

Sur la conductibilité électrique du mercure et des métaux purs aux basses températures; par MM. Cailletet et Bouty.

La résistance électrique des métaux purs croît avec la température. Cette variation, constatée d'abord par Pouillet, a fait l'objet de mesures nombreuses de Lenz [1] et de MM. Ed. Becquerel [2], Arndtsen [3], Matthiessen [4], Mousson [5] et Benoît [6]. De leurs expériences, on peut conclure que dans un intervalle de température peu étendu, la résistance d'un métal est en général représentée par la formule

$$r_t = r_0(1 + \alpha t), \tag{1}$$

et dans un intervalle plus considérable par des formules à trois termes

$$r_t = r_0(1 + \alpha t + \beta t^2), \tag{2}$$

dans lesquelles α et β sont des coefficients constants.

Toutes les expériences ont été réalisées soit entre 0° et 100°, soit à des températures plus hautes. Elles établissent que les coefficients α diffèrent peu d'un métal pur à un autre, et qu'ils ne sont pas très éloignés de $\frac{1}{273}$, c'est-à-dire du coefficient de dilatation des gaz. Si cette loi était rigoureuse, et si la formule (1) était applicable aux très basses températures, la résistance électrique d'un métal pur pourrait, au même titre que la pression d'un gaz parfait, être employée à la mesure des températures, puisque les deux quantités varieraient proportionnellement. Il y avait donc intérêt à effectuer des mesures de conductibilité électrique des métaux aux plus basses températures possibles. Tel a été l'objet de ce travail.

---

(1) Lenz, *Leitungsfähigkeit der Metalle für Elektricität bei verschiedenen Temperaturen* (*Pogg. Ann.*, t. XXXIV, p. 418 et t. XLV, p. 105; 1835-1838).

(2) Ed. Becquerel, *Ann. de Chim. et de Physique*, 3e série, t. XVII, p. 266; 1846.

(3) Arndtsen, *Pogg. Ann.*, CIV, p. 1, et CV, p. 148; 1858.

(4) Matthiessen und V. Bose, *Pogg. Ann.*, CXV, p. 353; 1862.

(5) Mousson, cité par G. Wiedemann, *Die Lehre von der Electricität*, t. I, p. 507.

(6) R. Benoit, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXVI, p. 342; 1873.

Nos expériences s'étendent de 0° à — 100° et — 123°. Elles ont porté sur le mercure et divers autres métaux.

Le mercure était contenu dans un tube de verre capillaire, contourné en spirale (¹) et terminé par deux tubes larges, dans lesquels plongeaient des électrodes en cuivre amalgamé de $3^{mm},5$ de diamètre. Le réservoir d'un thermomètre à hydrogène pénétrait à l'intérieur de la spirale et le tout était plongé soit dans la glace, soit dans un bain formé de chlorure de méthyle, d'un mélange de chlorure de méthyle et de neige carbonique ou enfin d'éthylène. Un courant d'air sec dont on réglait convenablement l'intensité brassait incessamment le bain liquide et en abaissait la température, suivant la méthode indiquée par M. Cailletet.

Quand on voulait opérer sur d'autres métaux, du cuivre par exemple, on remplaçait le tube en spirale par une bobine creuse de fil métallique enroulée sur un support d'ébonite, dans lequel on avait pratiqué de nombreuses et larges fenêtres, de manière à bien assurer le mélange des couches liquides, et l'uniformité de température du bain et de la résistance à mesurer. Le fil métallique tantôt nu, tantôt entouré de soie, plongeait directement dans le bain liquide. La glace, le chlorure de méthyle, l'acide carbonique et l'éthylène sont des isolants parfaits, et l'on n'a pas à craindre qu'il s'établisse, d'une spire à l'autre de la bobine, des dérivations susceptibles d'altérer notablement les mesures. On s'en est assuré par des expériences directes. Sauf pour le mercure solide, nous n'avons opéré que des mesures relatives.

Une résistance en mercure, de la forme précédemment décrite, était plongée à demeure dans la glace fondante et servait de terme de comparaison. Elle constituait l'une des branches d'un pont de Wheatstone, dont les trois autres branches étaient formées de deux caisses de résistance, et du fil métallique étudié. Les communications étaient établies par de très gros fils de cuivre dont la résistance, en général inférieure à la $\frac{1}{200}$ partie de la branche du pont qui les comprenait, pouvait être considérée comme invariable pendant la série des mesures; on constatait l'équilibre du pont à l'aide d'un galvanomètre à réflexion très sensible.

(¹) Ces tubes avaient été construits par M. Alvergniat.

Toutes les températures ont été mesurées par un même thermomètre à hydrogène que l'on observait à volume constant, et dans lequel la pression du gaz à 0° était de $509^{mm},3$. Le réservoir du thermomètre, de même hauteur que les bobines dont il occupait le centre, était complètement immergé à plusieurs centimètres de profondeur au-dessous de la surface libre du liquide, au fond d'une éprouvette de hauteur à peu près triple; cette éprouvette était protégée contre le réchauffement par une double enveloppe et par un tampon de ouate qui livrait passage à la tige capillaire du thermomètre, au tube qui insufflait l'air et aux gros conducteurs de cuivre du pont. Voici maintenant les résultats que nous avons obtenus :

1° *Mercure.* — Le mercure que nous avons employé était du mercure pur du commerce, purifié à nouveau par son séjour dans une série de trois flacons contenant le premier de l'acide azotique étendu, le second de l'acide sulfurique et le troisième de la potasse caustique.

Ce mercure était introduit par aspiration dans le tube en spirale que nous avons décrit : ce tube avait environ 1^{m} de long et 1^{mmq} de section ; il avait été contourné en une spirale d'à peu près $0^{m},10$ de hauteur et se terminait par deux tubes de plus de 1^{cq} de section contenant une masse assez considérable de mercure, dans laquelle plongeaient les électrodes en cuivre amalgamé. Les mesures ont toujours été conduites très rapidement, pour éviter la diffusion d'une quantité appréciable d'amalgame de cuivre dans la partie du tube contournée en spirale.

Quand on abaisse progressivement la température, la résistance du mercure varie d'abord très lentement jusqu'au voisinage de $-40°$. Le coefficient moyen de variation de 0° à $-40°$, déduit de nos expériences, a pour valeur

$$0,000804.$$

La formule

$$r_t = r_0(1 + 0,0008649\,t + 0,00000112\,t^2), \tag{3}$$

proposée par M. Benoît pour représenter la résistance apparente du mercure dans le verre, et adoptée par MM. Mascart, de Nerville et

Benoît [1] dans leurs recherches sur la fixation de l'ohm, donne pour coefficient moyen de 0° à — 40°,

$$0,000820,$$

nombre sensiblement identique au nôtre. Il y a donc lieu d'admettre que la formule (3) représente exactement la variation de la résistance du mercure liquide au-dessous de 0°; nous avons d'ailleurs constaté qu'il n'y a aucune variation brusque de la conductibilité au voisinage du point de congélation, alors même que le mercure demeure surfondu à des températures légèrement inférieures à celle de la congélation normale. Cette circonstance se présente assez fréquemment dans les tubes capillaires.

On est prévenu de la solidification du mercure, par une impulsion extrêmement brusque de l'aiguille du galvanomètre. La résistance du mercure tombe subitement au $\frac{1}{4}$ de sa valeur et diminue ensuite régulièrement, à mesure que la température s'abaisse, avec un coefficient de variation que nous nous sommes attachés à mesurer avec exactitude. Désignant par ρ_{-40} la résistance du mercure solide à — 40°, par ρ_t sa résistance à une température t quelconque inférieure à — 40°, nous avons trouvé que l'on a très exactement

$$\rho_t = \rho_{-40} \frac{1 + \alpha t}{1 - 40\alpha}, \tag{4}$$

avec $\alpha = 0,00407$.

Ce coefficient de variation est près de cinq fois plus fort que celui qui caractérise le mercure liquide au voisinage de — 40°.

La formule (4) est applicable dans les limites de température où ont été réalisées nos expériences sur le mercure, c'est-à-dire de — 40° à — 92°,13; la valeur de α que nous indiquons résulte d'une quinzaine de mesures bien concordantes, effectuées avec trois échantillons distincts de mercure récemment purifié.

La valeur du rapport $\frac{r_t}{\rho_t}$ de la résistance du mercure liquide à celle du mercure solide à la même température change avec la valeur de t, comme on le voit par la comparaison des formules (3)

---

[1] Mascart, de Nerville et Benoit, *Expériences pour la détermination de l'ohm* (*Séances de la Société de Physique,* année 1884, p. 123).

et (4). Les observations, réduites à l'aide de ces formules, nous ont donné

$$\frac{r_{-40}}{\rho_{-40}} = 4,087.$$

On sait, par les expériences de M. L. de la Rive [1], que la plupart des métaux (étain, zinc, plomb, cadmium) augmentent de résistance en fondant. Le mercure rentre dans cette règle, dont s'écartent le bismuth et l'antimoine; la variation de résistance qu'il subit est la plus grande que l'on connaisse, elle est à peu près double de celle que subissent l'étain et le zinc par exemple.

Nos expériences permettent de calculer approximativement la résistance spécifique absolue du mercure solide à 0°. Négligeant la dilatation du mercure et du verre, on a en effet

$$\rho_0 = \frac{\rho_{-40}}{1 - 40.0,00407} = \frac{r_{-40}}{4,087(1 - 40.0,00407)}$$
$$= \frac{r_0(1 - 0,0008469.40 + 0,0000012.40^2)}{4,087(1 - 40.0,00407)}.$$

La résistance spécifique r_0 du mercure liquide à 0° étant de $\frac{1}{1,06}$ ohms légaux, on trouve, tous calculs faits,

$$\rho_0 = 0^{\text{ohms}},2668 = 2,668.10^8 \quad \text{C.G.S.}$$

2° *Métaux solides.* — Tous les métaux purs que nous avons étudiés, à l'exception du platine, présentent au-dessous de 0° une résistance qui décroît régulièrement d'après la formule

$$(4) \qquad r_t = r_0(1 + \alpha t).$$

a. Étain. — L'étain de Banca que nous avons employé nous a donné un fil extrêmement flexible, sur lequel nous n'avons constaté, par les plus grands froids auxquels nous l'avons soumis, aucune des variations de structure que l'on a signalées pour l'étain ordinaire fortement refroidi. La valeur de α déduite de 11 expériences à des températures comprises entre 0° et — 85° est

$$\alpha = 0,00424.$$

---

[1] L. de La Rive, *Comptes rendus de l'Academie des Sciences,* LVII, p. 698; 1863.

D'après M. Becquerel, la valeur de α, au-dessus de 0°, varie d'un échantillon de métal à un autre de 0,003675 à 0,006188. D'après M. Benoît, la résistance de l'étain pris au-dessus de 0° est représentée par la formule

$$r_t = r_0 (1 + 0,004028\,t + 0,000005826\,t^2).$$

b. Argent. — Nous avons eu à notre disposition un fil d'argent chimiquement pur, que M. Debray a bien voulu nous prêter. La valeur de α déduite de 8 expériences entre + 29°,97 et — 101°,75 est

$$\alpha = 0,00385.$$

La formule de M. Benoît, pour l'argent pur, est

$$r_t = r_0 (1 + 0,003972\,t + 0,000000687\,t^2).$$

c. Magnésium. — 6 expériences entre 0° et — 88°,31 donnent

$$\alpha = 0,00388.$$

M. Benoît indique la formule

$$r_t = r_0 (1 + 0,003870\,t + 0,000000863\,t^2).$$

d. Aluminium. — 8 expériences entre + 27°,7 et — 90°,57 donnent

$$\alpha = 0,00390.$$

D'après M. Benoît

$$r_t = r_0 (1 + 0,003876\,t + 0,000001320\,t^2).$$

e. Cuivre. — Nos expériences les plus étendues se rapportent à divers échantillons d'un même fil de cuivre rouge isolé par deux couches de soie et d'environ 0^{mm},3 de diamètre. Une trentaine de mesures réparties en trois groupes ont donné les valeurs de α suivantes :

0°,00 à — 58°,22.....	$\alpha = 0,00418$
— 68,65 à —101,30.....	$\alpha = 0,00426$
—113,08 à —122,82.....	$\alpha = 0,00424$

Ces valeurs de α ne diffèrent pas entre elles de quantités supérieures à la limite des erreurs d'expérience. On doit donc admettre que jusqu'à — 123°, la résistance du cuivre varie d'après la formule (4) avec une valeur de α égale à 0,00423.

Tous les auteurs qui ont étudié la résistance du cuivre indiquent, pour le coefficient de variation entre 0° et + 100°, une valeur notablement plus faible. Par exemple, M. Benoît donne la formule

$$r_t = r_0 (1 + 0,00367\, t + 0,000000587\, t^2).$$

De quelques expériences effectuées par nous au voisinage de 0°, il semble en effet résulter que le coefficient qui convient à cette température est voisin de 0,00370, pour l'échantillon même sur lequel nous avons opéré. Il serait donc impossible de représenter par une formule unique la variation de la résistance du cuivre de + 100° à — 123°.

f. Fer. — Une dizaine d'expériences sur divers échantillons de fil de fer fin du commerce nous ont donné entre 0° et — 92°

$$\alpha = 0,0049.$$

La formule de M. Benoît pour le fer recuit est

$$r_t = r_0 (1 + 0,004516\, t + 0,00000582 8\, t^2).$$

g. Platine. — Le fil de platine que nous avons employé provenait d'un échantillon de platine chimiquement pur que nous avait prêté M. Debray; 9 expériences réalisées entre + 29°,16 et — 94°,57 nous ont donné :

De +29°,16 à —24°,04.....	$\alpha = 0,00301$
De —40,18 à —59,31.....	$\alpha = 0,00333$
De —63,62 à —94,97.....	$\alpha = 0,00342$

Les valeurs de α croissent d'une manière évidente, à mesure que la température s'abaisse; la formule (3) n'est donc pas applicable, mais on satisferait à peu près aux observations par la formule trinôme

$$r_t = r_0 (1 + 0,003\, t - 0,0000055\, t^2).$$

Le Tableau suivant résume nos observations sur les métaux solides, à l'exception du platine.

Métaux.	Limites de température.	α.
Argent.....	+29°,97 à —101°,75	0,00385
Aluminium....	+27,70 à — 90,57	0,00388
Magnésium....	0,00 à — 88,31	0,00390
Mercure.....	—10,00 à — 92,13	0,00407
Cuivre.....	—23,00 à —122,82	0,00423
Étain.....	0,00 à — 85,08	0,00424
Fer.....	0,00 à — 92,00	0,0049

En résumé, nous pouvons tirer de nos expériences les conclusions suivantes :

1° De 0° à — 100°, la formule binôme

$$r_t = r_0 (1 + \alpha t)$$

représente avec une exactitude suffisante la variation de résistance de la plupart des métaux purs.

2° Il en résulte qu'à la condition de déterminer α par une série d'expériences sur une spirale du fil métallique (argent, étain, cuivre fer, etc.) que l'on veut employer, on peut mesurer toutes les températures de 0° à —100° par la variation de résistance de cette spirale. L'erreur, par rapport au thermomètre à hydrogène, sera toujours inférieure à 1°.

3° Pour chaque métal, α présente une valeur particulière, supérieure en général au coefficient de dilatation des gaz.

L'application de la formule empirique

$$r_t = r_0 (1 + \alpha t)$$

conduirait à une valeur nulle de la résistance pour une température supérieure à — 273°. Il faut donc qu'à une température suffisamment basse, la variation de résistance des métaux devienne moins rapide. L'application de la formule empirique conduirait alors, pour le calcul des températures, à des nombres trop voisins de zéro.

Nous nous proposons d'étendre ces recherches à des températures très basses, et de les compléter par la comparaison de plusieurs thermomètres à hydrogène observés à volume constant, mais sous des pressions différentes [1].

---

[1] Dans le cours de ce travail nous avons été assistés avec beaucoup de zèle par M. J. Voisenat, élève ingénieur des Télégraphes.

Sur la théorie de la machine de Gramme; par M. Mascart.

1. Sans aborder dans toute sa généralité le problème des machines magnéto-électriques, il est utile d'examiner d'abord des cas simples qui permettent une analyse détaillée du phénomène. Les résultats ainsi obtenus ne s'appliquent pas directement aux machines réelles, mais ils sont au moins une première approximation qui peut servir de guide; c'est à ce titre que nous ferons quelques remarques sur la machine de Gramme.

Considérons une machine de Gramme dont la bobine tourne dans un champ magnétique invariable, comme celui qui serait produit par des aimants dont le magnétisme serait absolument rigide, et supposons que le champ magnétique soit symétrique par rapport à deux plans rectangulaires passant par l'axe de rotation.

L'aimantation du fer doux qui constitue l'anneau est immobile dans l'espace et l'on peut admettre qu'elle occupe la même position que si l'anneau était immobile. Il est probable que cette hypothèse n'est pas exacte et que l'aimantation n'est pas instantanée; mais aucune expérience ne semble avoir démontré encore qu'il y ait un retard appréciable, en dehors des courants induits dans la masse de fer et qui produisent un effet équivalent.

L'expérience indique, en outre, que les points d'appui des balais ne doivent pas correspondre aux boucles situées dans le plan de symétrie perpendiculaire aux forces, ou plan neutre, mais, lorsque la machine est employée comme électromoteur, aux boucles qui ont dépassé cette position d'un angle θ, qu'on appelle *angle de calage;* on en verra plus loin la raison.

Si les balais sont réunis par un circuit extérieur, le courant ne peut pas être constant en toute rigueur, car la force électromotrice et la résistance du circuit sont modifiées périodiquement, parce que les boucles sont tour à tour fermées sur elles-mêmes quand les balais appuient sur deux touches consécutives. Cette espèce de vibration du courant principal donne lieu à des extracourants qui diminuent l'effet utile de la machine, mais l'amplitude relative des oscillations est d'autant plus faible que le nombre des boucles de la bobine est plus grand, et l'on ne s'éloigne pas beaucoup de la vérité en supposant le courant uniforme.

Enfin nous admettrons encore que l'aimantation du fer est la superposition des deux aimantations qui seraient produites séparément par le champ extérieur et par le courant lui-même. Dans ce cas, l'aimantation due au courant n'influe pas sur la force électromotrice, par raison de symétrie, chacune des moitiés de l'anneau comprenant des boucles qui renferment deux à deux, de ce chef, des forces électromotrices égales et de signes contraires.

2. Supposons qu'il y ait $4m$ boucles distinctes, chacune d'elles étant formée de p spires autour de l'anneau, et appelons $4P$ le nombre total des spires; on a

$$4P = 4mp, \quad \text{ou} \quad P = mp.$$

Soient q le flux de force magnétique, provenant du champ extérieur, qui est coupé par une spire pendant une demi-rotation entre deux points situés dans le plan neutre, $f(\theta)$ le flux de force coupé dans l'angle θ de calage. Ces dernières forces agissant en sens contraire, l'excès de flux de force utile est $q - 2f(\theta)$ et le secteur réellement efficace correspond à l'angle $\pi - 2\theta$. Le flux de force utile coupé par une spire pour une rotation complète est

$$2[q - 2f(\theta)]$$

et, si la bobine fait n tours par seconde, le flux de force coupé par seconde est

$$(1) \qquad Q = 4P2n[q - 2f(\theta)].$$

Pour un courant d'intensité I dans le circuit extérieur, c'est-à-dire d'intensité $\frac{I}{2}$ dans la bobine, le travail électromagnétique W dépensé par seconde est

$$(2) \qquad W = \frac{I}{2} Q = nI4P[q - 2f(\theta)] = nIE_1.$$

Le facteur E_1, que M. Deprez appelle *fonction caractéristique* de la machine, dépend du champ extérieur et de l'angle de calage.

Lorsque l'angle de calage est invariable, ce facteur est constant si le champ extérieur est produit par une cause étrangère

au courant, ou une fonction de l'intensité seule si le champ est dû à des électro-aimants excités par le courant lui-même.

Si l'on remarque, en outre, que l'aimantation de l'anneau par le courant est oblique au champ extérieur, le mouvement de l'anneau lui-même exige une dépense de travail inutile, puisqu'elle provoque des courants induits et un dégagement de chaleur dans la masse du fer; nous n'en tiendrons pas compte.

3. L'angle de calage est déterminé pratiquement par la condition de supprimer les étincelles. Or les étincelles sont dangereuses, non pas au moment où le balai rencontre une touche, mais quand il s'en détache; pour supprimer les étincelles dans ce dernier cas, il faut que les deux touches successives, celle qui reste sous le balai et celle qui lui échappe, soient au même potentiel et que l'introduction de la boucle correspondante dans le circuit général n'altère pas l'égalité des potentiels. Si la boucle a été fermée pendant un temps supérieur à celui de la période variable relative à son propre circuit, la condition précédente exige que cette boucle renferme déjà une force électromotrice capable d'y produire le courant $\frac{I}{2}$. Cette force électromotrice comprend d'abord une partie qui est due au champ extérieur, c'est-à-dire

$$p\frac{df(\theta)}{dt} = pf'(\theta)\frac{d\theta}{dt} = p2n\pi f'(\theta).$$

En outre, on doit tenir compte, comme l'a fait remarquer M. Potier, de l'aimantation de l'anneau par le courant qui donne un flux de force de sens contraire et l'on peut représenter la force électromotrice correspondante par $p2n\pi M$, le facteur M étant proportionnel à l'aimantation. Pour que la boucle fermée sur elle-même renferme le courant $\frac{I}{2}$, il faut donc qu'on ait, en appelant r la résistance d'une spire,

$$pr\frac{I}{2} = p2n\pi[f'(\theta) - M]$$

ou

$$(3) \qquad f'(\theta) = \frac{Ir}{4n\pi} + M = I\left(\frac{r}{4n\pi} + \frac{M}{I}\right);$$

il en résulte que l'angle de calage est indépendant du nombre des spires qui constituent chaque boucle.

Si l'aimantation par le courant est proportionnelle à l'intensité, on peut poser

$$M = \frac{r'}{4\pi} I,$$

ce qui donne

$$(4) \qquad f'(\theta) = \frac{I}{4n\pi}(r + nr').$$

Dans ce cas, l'aimantation par le courant n'interviendrait dans la condition relative à l'angle de calage que par l'introduction d'une résistance fictive nr' proportionnelle à la vitesse.

4. Le travail perdu comprend d'abord l'énergie calorifique qui correspond au passage du courant dans la résistance extérieure inutilisée ρ et dans la résistance moyenne de la bobine. La résistance de la bobine est alternativement mpr ou $(m - \frac{1}{2})pr$, suivant que les balais appuient sur une ou sur deux touches; on peut prendre la valeur moyenne $(m - \frac{1}{4})pr$. Le travail perdu par échauffement est donc égal à

$$I^2[\rho + (m - \tfrac{1}{4})pr].$$

D'autre part, M. Joubert a montré que la suppression et le rétablissement du courant dans la boucle fermée constituent une perte de travail qui équivaut à un accroissement fictif de la résistance. En appelant l le coefficient de self-induction d'une boucle, la perte d'énergie due à la chute du courant est $\frac{l}{2}\frac{I^2}{4}$; comme l'opération se répète deux fois par tour pour chaque boucle, il en résulte une perte totale par seconde de $mnlI^2$, c'est-à-dire équivalente à celle qui serait produite par une résistance fictive égale à mnl.

Le coefficient d'induction l est proportionnel au carré du nombre des spires et peut être représenté par λp^2. Si l'enroulement renferme un nombre total constant $4P$ de spires, cette résistance fictive

$$(5) \qquad mnl = \frac{P}{p} n\lambda p^2 = nP\lambda p$$

est proportionnelle au nombre des spires qui constituent chaque

boucle, tandis que la résistance moyenne de la bobine

$$(m-\tfrac{1}{4})\,pr = \left(P - \frac{p}{4}\right) r$$

en est à peu près indépendante.

La résistance fictive $mnl = nP\lambda p$ est réduite au minimum quand chaque boucle ne comprend qu'un spire. Cette condition est réalisée dans les machines à gros fil employées en galvanoplastie, mais des difficultés mécaniques ne permettent pas de l'appliquer aux machines à fil fin, nécessaires pour obtenir de grandes forces électromotrices.

Finalement, l'excès de l'énergie dépensée sur l'énergie perdue, ou le travail utile U pendant l'unité de temps, est

$$U = nIE_1 - I^2[\rho + (m-\tfrac{1}{4})\,r + mnl]. \tag{6}$$

5. Pour un calage déterminé, E_1 est une fonction $F(I)$ de l'intensité seule; en représentant par R la résistance totale comprise dans la parenthèse, on a donc

$$U = nIF(I) - RI^2, \tag{7}$$

et le rendement est

$$\alpha = \frac{U}{W} = 1 - \frac{RI}{nF(I)}. \tag{8}$$

Dans les machines auto-excitatrices, le rapport $\frac{I}{F(I)}$ va toujours en croissant avec l'intensité; comme $F(o)$ n'est pas nul à cause du magnétisme rémanent, le rendement est d'autant plus grand que le courant est plus faible et la rotation plus rapide.

A vitesse constante, le travail utile est maximum pour la condition

$$n[F(I) + IF'(I)] = 2IR, \tag{9}$$

qui détermine l'intensité correspondante du courant; on en déduit

$$\frac{IR}{nF(I)} = \tfrac{1}{2} + \frac{IF'(I)}{2F(I)}, \tag{10}$$

de sorte que le rendement α_m, relatif au travail maximum, est

$$\alpha_m = \tfrac{1}{2} - \frac{IF'(I)}{2F(I)}. \tag{11}$$

Or la fonction F(I) est toujours croissante, parce que l'aimantation des excitateurs n'atteint jamais sa valeur maximum et que les fils mêmes de l'électro-aimant introduisent dans cette fonction un terme proportionnel à l'intensité du courant. La valeur de $F'(I)$ étant toujours positive, on en conclut que le rendement relatif au travail maximum est toujours inférieur à 0,5. Ce rendement ne peut atteindre la valeur 0,5 que si l'on a $F'(I) = 0$, c'est-à-dire si le champ extérieur est invariable.

6. La forme de la fonction $f(\theta)$ peut être déterminée par expérience. Il suffit, le champ extérieur étant maintenu par un courant I, de relier une seule boucle à un circuit extérieur renfermant un galvanomètre balistique et de mesurer les quantités d'électricité induites pour une série de variations égales et très petites $d\omega$ de l'angle ω que fait la boucle avec le plan neutre; ces quantités sont proportionnelles à $f'(\omega)\,d\omega$. On vérifierait ces résultats partiels par la quantité d'électricité induite correspondant à un déplacement d'un quart ou d'une demi-circonférence. La courbe des valeurs de $f'(\omega)$ est symétrique par rapport à l'ordonnée $f'\left(\frac{\pi}{2}\right)$ et la force électromotrice E_1 est représentée par l'aire comprise entre les ordonnées qui correspondent aux angles θ et $\pi - \theta$. La valeur de l'ordonnée $f'(\theta)$ sera donnée par l'équation (4).

Si l'on représente par R' la résistance extérieure utile, y compris la résistance équivalente aux forces électromotrices vaincues, on a $U = I^2R'$ et l'équation (7) donne

$$I = n\frac{F(I)}{R + R'}. \tag{12}$$

L'équation (4) devient alors

$$f'(\theta) = \frac{F(I)}{4\pi}\,\frac{r + nr'}{R + R'}. \tag{13}$$

Pour une machine donnée, la dérivée $f'(\theta)$ et l'angle de calage θ croissent avec F(I), c'est-à-dire avec l'intensité du courant, avec la vitesse et en sens inverse de la résistance totale.

Les étincelles reparaissent dès que l'angle de calage est plus petit ou plus grand que la valeur donnée par cette équation; la force électromotrice est alors plus grande ou plus faible que celle qui correspond au régime sans étincelles.

7. On peut, dans certains cas, connaître approximativement la fonction $f(\theta)$. L'anneau est généralement à peu près cylindrique. Si le champ extérieur est uniforme, l'aimantation de l'anneau est analogue à l'électrisation d'un conducteur dans un champ électrique; le flux d'induction magnétique dans la masse de fer doux est uniforme et, comme il est la continuation du flux de forces extérieur, il en résulte que $f(\theta)$ est proportionnel à la projection de l'arc correspondant sur le plan neutre, c'est-à-dire à $1 - \cos\theta$. On a donc

$$f(\theta) = A(1 - \cos\theta), \tag{14}$$

ce qui donne

$$q = f(\pi) = 2A, \qquad q - 2f(\theta) = 2A\cos\theta,$$
$$F(I) = E_1 = 4P\,2A\cos\theta, \quad f'(\theta) = A\sin\theta.$$

On déduit alors de l'équation (13)

$$\operatorname{tang}\theta = \frac{2P}{\pi}\,\frac{r + nr'}{R + R'}. \tag{15}$$

L'angle de calage est nul si la résistance totale est très grande et, par suite, le courant très faible.

Le courant est maximum quand la résistance extérieure est nulle; on a alors

$$\operatorname{tang}\theta = \frac{2}{\pi}\,\frac{P(r + nr')}{\rho + \left(P - \frac{p}{2}\right)r + 4nPp\lambda}.$$

8. Les considérations qui précèdent ne sont, sans doute, qu'une première approximation; mais elles me paraissent avoir l'avantage de mettre en relief les causes qui interviennent dans le jeu des machines.

Pour le calage des balais, en particulier, on a admis que le courant a eu le temps de s'établir dans la bobine isolée. En réalité, au lieu de l'équation (3), on doit employer, pour déterminer le courant i dans la boucle, l'équation

$$ri + l\frac{di}{dt} = 2n\pi[f'(\theta) - M] = E.$$

La force électromotrice E étant sensiblement constante, l'inten-

sité du courant au moment où la boucle échappe au balai, à l'époque t après qu'elle a été isolée, est

$$i = \frac{E}{r} + \left(i_0 - \frac{E}{r}\right) e^{-\frac{rt}{l}}.$$

L'intensité initiale i_0 étant égale à $-\frac{I}{2}$, pour que l'intensité finale soit égale à $\frac{I}{2}$, il faut qu'on ait

$$2E - rI = (2E + rI)\, e^{-\frac{rt}{l}},$$

ou

$$2E\left(1 - e^{-\frac{rt}{l}}\right) = rI\left(1 + e^{-\frac{rt}{l}}\right).$$

Remplaçant dans cette expression la force électromotrice E par sa valeur, on en déduit

$$4n\pi[f'(\theta) - M] = rI\,\frac{1 + e^{-\frac{rt}{l}}}{1 - e^{-\frac{rt}{l}}}.$$

Si l'on admet encore que l'aimantation est proportionnelle au courant, il vient

$$(16) \qquad f'(\theta) = \frac{I}{4n\pi}\left(r\,\frac{1 + e^{-\frac{rt}{l}}}{1 - e^{-\frac{rt}{l}}} + nr'\right),$$

au lieu de l'équation (4).

On voit que, pour une même intensité I, la valeur de l'angle de calage θ est plus grande que si le temps de fermeture t de la boucle était supérieur à la durée du courant variable dans le circuit de cette boucle.

SÉANCE DU 19 JUIN 1885.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 juin est lu et adopté.

M. le Président annonce que l'Association française pour l'avancement des Sciences tiendra sa quatorzième session à Grenoble du 12 au 20 août 1885. La Société délègue M. Angot, pour la représenter à cette session.

M. Cazes expose quelles sont les conditions à remplir pour que deux épreuves photographiques d'un objet donnent par leur vision simultanée au stéréoscope la même sensation que celle que produirait un objet réel semblable au premier, mais de dimensions différentes et placé à la distance de la vision distincte.

Le changement instantané de l'angle visuel nécessité par la superposition successive de plusieurs points correspondants des deux images placées au stéréoscope, entraînant toujours un changement de l'accommodation des yeux, on ne doit produire au stéréoscope qu'un relief égal à environ $\frac{1}{10}$ de la distance de la vision distincte.

Dans ce cas le changement d'accommodation est assez faible pour que la perception reste nette pour les deux valeurs extrêmes de l'angle visuel.

Cette condition détermine la grandeur maximum des épreuves. Pour les obtenir, on doit placer les chambres noires à une distance D de l'objet donnée par la formule

$$D = \frac{10}{v} df,$$

dans laquelle :

v représente la distance de la vision distincte dans le stéréoscope à employer;

d le relief de l'objet à photographier;

f la longueur focale de l'objectif.

De plus les chambres doivent faire, avec un point de l'objet à reproduire, un angle égal à celui que font les yeux regardant un point à la distance v, soit 12° à 15°.

M. E. Hospitalier appelle l'attention de la Société sur ce fait que les appareils de mesure industriels ne donnent des indications concordantes qu'avec des courants continus, tels que ceux fournis par les piles et les accumulateurs. Dès que le courant affecte une forme ondulatoire un peu accusée, comme, par exemple, le courant fourni par la machine de M. Anatole Gérard, les indications fournies par les ampèremètres et les voltmètres magnétiques sont toujours *inférieures* à celles qui correspondraient à la vraie valeur de l'énergie électrique consommée dans le circuit extérieur.

Il résulte des expériences que :

1° Lorsque les lampes sont amenées à la même intensité lumineuse, les indications d'un électrodynamomètre intercalé dans le circuit restent les mêmes, qu'on fasse usage de courants continus ou de courants redressés.

2° Les indications d'un ampèremètre Deprez-Carpentier sont en moyenne de *dix* pour 100 plus faibles avec les courants redressés qu'avec les courants continus.

3° Les indications d'un voltmètre Thomson ou d'un voltmètre Deprez-Carpentier monté en dérivation sur les bornes de la machine sont d'environ *quinze* pour 100 plus faibles avec les courants redressés qu'avec les courants continus.

La forme du courant introduit donc des différences nullement négligeables puisqu'elles conduisent à attribuer à une lampe donnée une consommation en volt-ampères ou watts trop petite de 23,5 pour 100, lorsqu'elle est alimentée par des courants redressés.

La divergence provient de ce que les indications de l'ampèremètre sont proportionnelles à l'intensité moyenne, et que le carré de l'intensité moyenne introduit dans la formule

$$W = RI^2,$$

pour calculer le travail moyen par seconde, est toujours plus petit que la moyenne des carrés de l'intensité, déduite des indications de l'électrodynamomètre, qui représente la vraie dépense de la lampe.

Il en est de même pour le voltmètre, qui donne la moyenne des différences de potentiel aux bornes de la lampe, mais la divergence des résultats obtenus avec les courants redressés et les courants continus est encore augmentée par la *self-induction* du voltmètre qui tend à affaiblir le courant moyen qui le traverse, et à diminuer ainsi ses indications.

Il résulte de ces expériences qu'on commet des erreurs grossières en calculant la dépense en watts des lampes à incandescence, alimentées par des courants redressés, en faisant le produit des volts et des ampères indiqués par des appareils de mesure *magnétiques*, étalonnés avec des courants continus.

Cette dépense ne peut être calculée exactement, avec des courants redressés, qu'en mesurant l'intensité avec un électrodynamomètre, et la différence des potentiels à l'aide de l'électromètre à quadrants (méthode idiostatique), du voltmètre de Cardew, ou des voltmètres calorimétriques de M. d'Arsonval.

M. Henri Becquerel expose une méthode au moyen de laquelle on peut mesurer très facilement en unités absolues l'intensité d'un courant électrique, en observant la rotation du plan de polarisation de la lumière sous l'influence électro-magnétique de ce courant. Si l'on dispose dans l'axe d'une bobine, dont le nombre de tours N est exactement connu, un tube plein de liquide, de sulfure de carbone par exemple, fermé par des glaces parallèles, et dépassant suffisamment de part et d'autre les extrémités de la bobine, la rotation du plan de polarisation de la lumière au travers de ce tube est, à une très petite correction près, donnée par la formule

$$R = 4\pi NI\alpha,$$

d'où l'on déduit I, si l'on mesure R et si l'on connaît N et la constante α.

Cette formule serait rigoureusement vraie si le tube était infiniment long, mais quand le diamètre de la bobine ne dépasse pas $0^m,05$, en limitant le tube à $0^m,50$ des extrémités, on ne néglige que 0,001 de l'effet total et à $1^m,50$ la correction ne dépasse pas 0,0001. La constante α a été déterminée avec le plus grand soin par M. H. Becquerel, au moyen d'un appareil disposé sur le principe indiqué plus haut, en mesurant d'une part la rotation

R, et d'autre part l'intensité I. Il a ainsi trouvé pour le sulfure de carbone à 0°, avec les rayons jaunes D, la valeur $\alpha = 0',04341$ (C.G.S.). Ce nombre correspond aux rotations simples. On en déduit que, par ampère et par tour de fil, on a une rotation double de $0',1090967$. Une bobine de 5505 tours donne 10° de rotation par ampère. Si le sulfure de carbone est à une température différente de 0° on ramènera la rotation à 0° au moyen de la formule donnée par M. Bichat

$$R_t = R_0(1 - 0,00104\,t - 0,000014\,t^2).$$

Cette méthode, d'une réalisation très pratique, permet de construire très facilement des étalons tous comparables entre eux, et qui peuvent servir utilement à graduer les autres instruments de mesure des courants.

M. Potier fait observer que le procédé optique de mesure des courants a d'autant plus de chances de devenir pratique, qu'on aura à mesurer des angles plus grands. Il croit utile de signaler un liquide qu'il a eu occasion d'étudier dans des recherches électro-optiques faites en commun avec M. Cornu; c'est la dissolution d'iodure mercurique dans l'iodure de potassium, proposée par M. Thoulet pour la séparation mécanique des minéraux; le liquide saturé à 15° a un pouvoir rotatoire magnétique 2,8 fois plus grand que celui du sulfure de carbone à la même température. Un courant de 9^{amp} environ, passant dans une bobine de $0^m,50$ de long, composée de 20 couches de fil de $1^{mm},5$ de diamètre et pesant 18^{kg}, formant 5300 tours, a donné dans un tube de 1^m de longueur une rotation *simple* de 115°; la résistance de cette bobine était de $10^{\omega},6$. On pourrait donc, pour mesurer des courants de cet ordre, se contenter d'une bobine dix fois moins longue, et, en associant en dérivation les couches superposées, mesurer des courants vingt fois plus forts, avec la même approximation relative. La proportionnalité absolue des rotations aux courants permettrait toujours d'étalonner rapidement un instrument à aimant au moyen d'une semblable bobine. Le liquide proposé est stable et d'un maniement plus facile que le sulfure de carbone.

De l'obtention par la photographie des épreuves stéréoscopiques à perspective exacte; par M. Cazes.

Le problème que j'ai essayé de résoudre a été proposé récemment par M. Marey à la Société française de Physique, séance du 1er mai; on peut l'énoncer ainsi :

Quelles sont les conditions à remplir pour que deux épreuves photographiques d'un objet A *donnent, par leur vision simul-*

tanée au stéréoscope, la même sensation que celle que produirait un objet réel A′ *semblable au premier, mais de dimensions différentes et placé à la distance de la vision distincte?*

Considérons d'abord l'objet A′ placé devant les yeux à la distance v de la vision normale ($0^m,30$ environ). Il pourrait sembler *a priori* que deux perspectives de cet objet obtenues de chacun des deux yeux sur un plan perpendiculaire à la bissectrice de l'angle visuel et situé à la distance v doivent *toujours* donner par leur superposition stéréoscopique la représentation exacte de cet objet. Il n'en est rien. Lorsque, en effet, les yeux se portent successivement d'un des points les plus rapprochés de l'objet A′ sur un des points les plus éloignés, l'angle visuel et l'accommodation changent en même temps. Quand, au contraire, on contemple les deux images à distance fixe, l'angle visuel doit seul changer pour superposer les divers points correspondants, tandis que l'accommodation doit rester la même. Il faut donc, pour que les projections puissent, au stéréoscope, remplacer l'objet A′, que celui-ci ait une profondeur *maxima* telle que l'œil, étant accommodé pour le point le plus proche, voie encore nettement le point le plus éloigné.

Cette profondeur est de $0^m,03$ environ pour une vision normale à $0^m,30$; elle augmente ou diminue quand cette dernière distance augmente ou diminue elle-même : on peut donc, sans erreur sensible, la prendre égale à $\frac{v}{10}$.

Cela posé, il ne s'agit plus que d'obtenir photographiquement deux épreuves de l'objet A identiques aux deux perspectives de A′ que je viens de considérer.

Pour cela, il est d'abord évident que les chambres noires doivent faire avec un point de l'objet A un angle égal à l'angle visuel lorsqu'on regarde un point à la distance v, soit 12° à 15°.

Il reste à déterminer la distance moyenne D de l'objet A à chacun des objectifs.

Désignons par

f la distance du centre optique de l'objectif à l'image de l'objet A fournie dans la chambre noire;

d la profondeur de l'objet A, c'est-à-dire la distance des deux plans extrêmes limitant cet objet et perpendiculaires à la bissectrice des chambres.

Puisqu'on veut obtenir des images dont la dimension soit à celle de l'objet comme $\frac{v}{10}$ est à d, on doit avoir

$$\frac{D}{f} = \frac{d}{\frac{v}{10}} \quad \text{ou} \quad D = \frac{10}{v} fd.$$

Cette valeur de D est un *minimum*. Il n'y a d'autre *maximum* que celui qui résulterait de l'exiguïté des épreuves obtenues.

En résumé, les chambres noires doivent :

1° Faire avec l'objet un angle égal à celui que font les yeux regardant un point placé à la distance de la vision dans le stéréoscope à employer ;

2° Être placées à la distance *minima* de l'objet donnée par la formule

$$D = \frac{10}{v} fd.$$

L'application de cette méthode m'a fourni de bons résultats.

Mesure du pouvoir rotatoire magnétique des corps en unités absolues; par M. Henri Becquerel.

Avant-Propos.

La détermination de la grandeur du pouvoir rotatoire magnétique des corps, en fonction des unités fondamentales de la Mécanique, le *centimètre,* la *masse du gramme* et la *seconde de temps* ou, comme on le dit généralement, en *unités absolues,* a une importance à la fois pratique et théorique.

Pratiquement la connaissance de ce nombre permet de mesurer très facilement, en unités absolues, l'intensité d'un champ magnétique quelconque, et l'intensité absolue d'un courant électrique. J'ai indiqué, l'année dernière (1), une disposition très simple, per-

(1) *Comptes rendus,* t. XCVIII, p. 1253; 1884.

mettant de mesurer l'intensité absolue d'un courant électrique avec une précision qui n'est limitée que par l'exactitude avec laquelle est connue la constante qui fait l'objet du présent Mémoire.

Au point de vue théorique, il n'est pas moins intéressant de connaître l'expression numérique d'un phénomène qui relie les effets optiques aux actions magnétiques mesurées avec les mêmes unités.

Depuis Faraday, les travaux de divers physiciens, et notamment les recherches que j'ai publiées (1), ont montré quels étaient les rapports des pouvoirs rotatoires magnétiques d'un grand nombre de corps, solides, liquides et gazeux. Il suffit donc de connaître la valeur absolue du pouvoir rotatoire magnétique de l'un quelconque des corps étudiés, pour en déduire celle de tous les autres corps, en ayant soin de préciser dans chaque cas la température des corps et la longueur d'onde de la lumière dont on mesure la rotation du plan de polarisation.

Dans ces comparaisons, quelques observateurs ont rapporté leurs mesures au pouvoir rotatoire magnétique de l'eau. On prend plus généralement pour type le sulfure de carbone, en raison de la grandeur qu'il présente et de la facilité avec laquelle on obtient ce liquide dans un état de grande pureté. Il faut alors avoir grand soin de préciser la température à laquelle sont faites les comparaisons.

En 1877 (2), M. Gordon se proposa de mesurer le pouvoir rotatoire magnétique absolu du sulfure de carbone, en calculant l'intensité absolue du champ magnétique auquel était soumise une colonne de sulfure de carbone, à l'intérieur d'une bobine dont il évaluait les dimensions, et qui était parcourue par un courant électrique. Le nombre qu'il a obtenu est relatif à la lumière verte du thallium.

Malheureusement M. Gordon n'a pas précisé la température de ses expériences, il estime seulement qu'elle était voisine de 12°C. En ramenant par un calcul dont les éléments se trouvent dans mes recherches antérieures, le résultat de M. Gordon, à ce qu'il serait

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XII, 1877, t. XXI, 1880, et t. XXVII, 1882.

(2) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXVII, 1882.

à 0°C et pour les rayons jaunes d'une lampe à sodium, on trouve un résultat très voisin de celui qui se déduit des expériences présentes. Le plan de polarisation d'un rayon lumineux jaune D, traversant 1^{cm} de sulfure de carbone à 0°C. placé dans un champ magnétique égal à l'unité C.G.S. subirait une rotation de 0′,0433 environ.

En 1882 (¹), j'avais eu occasion de déduire une évaluation de la même constante, en mesurant la rotation du plan de polarisation de la lumière sous l'influence du magnétisme terrestre. Dans les conditions de cette expérience, l'intensité absolue du champ magnétique, au milieu de la pièce où se trouvait l'appareil, était difficile à mesurer avec une grande exactitude en raison de barres de fer qui existaient dans la maçonnerie. Outre cette condition, la difficulté qu'il y avait à connaître exactement la longueur d'onde des rayons lumineux a limité encore davantage la précision du résultat, bien que les mesures optiques fussent concordantes entre elles à plus de $\frac{1}{200}$ de leur valeur. Le nombre 0′,046, qui résulte de ces expériences, paraît trop fort de $\frac{1}{17}$ de sa valeur.

L'écart entre le résultat que j'avais obtenu et celui de M. Gordon m'a conduit à reprendre la détermination de cette constante importante par une méthode nouvelle, qui n'exigeât pas le calcul ou la mesure des dimensions des appareils, toujours difficile à faire avec exactitude, et qui conduisît à un résultat plus précis que les précédents.

Depuis ce moment deux observateurs ont exécuté les mêmes recherches par des méthodes différentes. En Angleterre, lord Rayleigh (¹) a trouvé pour le sulfure de carbone à la température de 18° le nombre 0′,0420 relatif aux rayons jaunes D, nombre qui à 0° donnerait 0′,0430. A Strasbourg, M. L. Arons (²) a mesuré le pouvoir rotatoire magnétique absolu de l'eau, à la température de 23° environ. On déduirait de ces expériences, pour le sulfure de carbone à 0°, le nombre 0′,0439.

Les présentes mesures ont été exécutées avec le sulfure de carbone à la température même de 0°C. La simplicité de la méthode

---

(¹) *Proc. Roy. Soc.*, juin 1884.
(²) *Wiedemann Ann.*, Bd. XXIV, 1885.

et la précision des mesures permettent de répondre d'une approximation plus grande que celle des nombres que l'on vient de citer.

Méthode d'observation. — La méthode d'observation est fondée sur le théorème suivant :

Si l'on considère une bobine contenant N *tours de fil de forme et de diamètre quelconques parcourus par un courant* I, *et une droite indéfinie quelconque traversant l'intérieur de cette bobine, l'intégrale du champ électromagnétique total le long de cette droite, de* $-\infty$ *à* $+\infty$, *est égale à* $4\pi NI$.

On démontre aisément ce théorème, en observant que le long d'un contour fermé quelconque, traversant une seule fois la bobine, le champ magnétique total est $4\pi NI$ et qu'il en est de même le long d'une droite indéfinie qui peut être assimilée à un contour se fermant à l'infini.

Cela posé, si l'on imagine un tube indéfini rectiligne, traversant la bobine, et plein de sulfure de carbone, un rayon lumineux polarisé traversant ce tube parallèlement à l'axe aurait son plan de polarisation dévié d'un angle correspondant à un champ magnétique égal à $4\pi NI$.

La rotation R du plan de polarisation a pour expression

$$R = \alpha 4\pi NI,$$

α étant la constante qu'il s'agit de déterminer.

Si l'on connaît exactement le nombre N des tours de la bobine, la question se réduit à mesurer R et à déterminer la valeur absolue de I; on déduit alors α de l'expression donnée plus haut.

Pratiquement, le tube n'a pas besoin d'être indéfini. On se rend facilement compte de l'erreur que l'on commet en donnant au tube une longueur finie, si l'on dispose celui-ci dans l'axe d'une bobine circulaire.

Si l'on n'avait qu'un courant circulaire unique et que le tube fût limité en deux points équidistants du centre, d'où l'on vît sous un angle ω le rayon du cercle, le potentiel électromagnétique en ces points étant $2\pi I(1 - \cos\omega)$, on reconnaît que l'expression $(1 - \cos\omega)$ donne la valeur de la portion du champ magnétique total $4\pi I$, que l'on néglige depuis l'infini jusqu'à une distance déterminée du plan du courant.

Pour une bobine composée d'un grand nombre de spires, on peut faire le calcul pour chaque spire. Mais, généralement, on peut se borner à calculer $(1 - \cos\omega)$ pour les spires extrêmes, et l'on a ainsi une limite supérieure de l'erreur commise, en prenant pour la différence de potentiel magnétique aux extrémités du tube la valeur $4\pi NI$.

A une distance de 1^m d'une bobine de $0^m,05$ de diamètre, l'erreur n'atteint pas 0,0003.

Il suffit donc, pour appliquer la méthode, de disposer dans l'axe d'une bobine dont le nombre de tours est exactement connu un tube de 2^m à 3^m de longueur, d'établir aux extrémités un polariseur et un analyseur, et de mesurer la rotation du plan de polarisation de rayons de longueur d'onde connue, en faisant passer dans la bobine un courant dont on détermine d'autre part l'intensité absolue.

Pour l'application pratique, un tube de 1^m de longueur serait suffisant.

Un des avantages principaux de cette méthode, qui donne des résultats instantanés, est qu'elle n'implique aucune mesure des dimensions des appareils, et n'exige que la connaissance exacte du nombre des tours d'une bobine, ce qui est facile à connaître au moment de l'enroulement.

Appareil optique. — L'appareil, qui a été construit avec grand soin dans les ateliers de M. J. Carpentier, se compose d'un tube en cuivre de $3^m,175$ de long et de $0^m,025$ de diamètre extérieur, fermé par des glaces parallèles, et disposé au milieu d'une cuve en bois, dans laquelle on pouvait mettre de la glace ou de l'eau. Au milieu de la longueur du tube était disposée une bobine de fil bien isolé, dont le nombre des tours était exactement connu. L'ensemble de cet appareil était monté sur le banc du grand appareil de polarisation qui m'avait servi pour l'étude des pouvoirs rotatoires magnétiques des gaz et qui a été décrit dans les *Annales de Chimie et de Physique* (1) et dans ce Recueil.

A l'une des extrémités est un brûleur à chlorure de sodium, et

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XXI, 1880, et *Séances de la Société de Physique*, p. 94, année 1879.

un gros polariseur à pénombres; de l'autre côté est un analyseur monté sur un cercle divisé dont le vernier donne la minute, et auquel est adaptée une lunette indépendante.

Pour éliminer toute cause d'erreur due à une imperfection de la division du cercle, on a utilisé, dans les diverses séries, des portions différentes de la graduation.

Le tube a été rempli de sulfure de carbone préalablement purifié et distillé.

Au cours des expériences, j'ai été conduit à faire usage de plusieurs bobines. Dans les séries définitives, j'ai employé deux bobines, l'une de $0^m,70$ de longueur, contenant 3256 tours d'un fil de cuivre de $0^m,0012$ de diamètre entouré de paraffine, et dont la dernière rangée avait un diamètre extérieur moyen d'environ $0^m,063$. Une épaisse couche de paraffine protégeait la bobine, qui a pu être plongée sous l'eau sans altération. La seconde bobine, que j'avais construite moi-même, à titre de contrôle, contenait 1038 tours; son diamètre extérieur était de $0^m,042$.

Dans plusieurs séries, un tube de verre a été substitué au tube de cuivre, et je me suis assuré que, dans les conditions des expériences définitives, le faible magnétisme du cuivre du commerce n'apportait aucune perturbation appréciable dans les résultats.

D'après les dimensions de l'appareil, on a calculé pour chaque rangée des bobines la correction $(1 - \cos\omega)$ mentionnée plus haut, et il résulte de ce calcul que la correction moyenne à apporter dans la valeur du champ magnétique observé, pour qu'il fût égal à $4\pi NI$, était 0,000152 pour la bobine de 3256 tours et 0,000162 pour la bobine de 1038 tours.

Les deux bobines avaient été montées ensemble sur le tube en cuivre, de manière à pouvoir se prêter à un contrôle mutuel. On faisait traverser les deux bobines par le même courant, et l'on observait la somme des rotations magnétiques $R + r$ dues à chacune d'elles; puis on renversait le courant électrique dans la petite bobine seulement : on n'avait plus alors que la différence $R - r$ des rotations. On pouvait en déduire R et r et, comme l'intensité du courant était rigoureusement la même dans les deux bobines, le rapport des rotations devait être rigoureusement égal au rapport des nombres de tours de chaque bobine. L'exactitude avec laquelle les mesures optiques réalisaient cette condition pouvait servir de con-

trôle à la précision des mesures; le rapport théorique était 3,1368, et les rapports trouvés par expérience ont varié entre 3,136 et 3,138.

Mesure de l'intensité du courant. — L'un des points les plus délicats de ces recherches est la mesure absolue de l'intensité du courant électrique dans chaque expérience. Cette intensité a été déduite du poids d'argent déposé à l'électrode négative ou dissous à l'électrode positive d'un voltamètre à lames d'argent, pendant un temps déterminé. Les nombres donnés pour le poids d'argent déposé par seconde par un courant de 1 ampère (10^{-1} C.G.S.) sont

		mgr
D'après MM.	Kohlrausch.....	1,1183
»	Lord Rayleigh.....	1,1180
»	Mascart.....	1,1156

On peut admettre $1^{mmg},118$ à 0,001 près.

La détermination de l'intensité absolue d'un courant par les dépôts électrochimiques d'argent est une opération difficile. Lorsque ce courant est trop fort, les dépôts ne se font pas régulièrement, ils ne sont pas adhérents, et l'on ne vérifie plus l'égalité des poids déposés au pôle négatif et dissous au pôle positif. On ne peut guère dépasser un courant de $\frac{1}{2}$ ampère. Avec un courant de $0^{amp},3$ à $0^{amp},4$ il convient de laisser passer le courant dans le voltamètre pendant quarante à cinquante minutes, afin d'avoir une précision suffisante dans les pesées.

L'observation exige tous les soins de l'observateur pour noter à chaque instant les petites variations qui peuvent survenir dans l'intensité du courant; il est donc difficile de faire en même temps de bonnes séries d'observations optiques. Ces déterminations ont été faites lorsque la constance du courant l'a permis, mais seulement à titre de contrôle. Le plus généralement, on a eu recours, comme intermédiaire, aux déviations d'un galvanomètre servant de témoin.

On comparait les rotations du plan de polarisation de la lumière, dans l'appareil, aux déviations du galvanomètre, et cette étude a permis de tracer une courbe donnant pour chaque déviation du galvanomètre la rotation correspondante; puis, après chaque opération, on pouvait intercaler dans le courant un voltamètre à ar-

gent, et mesurer les intensités absolues, correspondant à des déviations diverses du galvanomètre.

Le galvanomètre était un instrument apériodique du genre de ceux de M. Deprez, très habilement construit par M. Carpentier. Entre les branches verticales d'un fort aimant en fer à cheval est disposé un cadre contenant quelques tours de fil, et dont le plan médian coïncide avec celui de l'aimant. A l'intérieur du cadre, une lame rectangulaire de fer, très mince, est montée verticalement sur deux pivots. Dans le champ magnétique intense auquel elle est soumise, cette lame prend presque instantanément la direction des lignes de forces. Lorsqu'un courant passe dans le fil, elle prend sans oscillations sensibles une nouvelle position d'équilibre. Un miroir collé sur la lame permet de viser avec une lunette les divisions d'une échelle placée à $2^{m},570$ environ du miroir. Au moyen d'un grossissement convenable, on pouvait mesurer les déviations avec une grande précision. Un courant de $0^{amp},46$, donnait 350 divisions environ de déviation totale, lorsqu'on prenait les deux positions du miroir, obtenues en renversant le sens du courant. On estimait facilement le $\frac{1}{3}$ de division qui correspondait au $\frac{1}{1000}$ d'ampère environ.

Mesures expérimentales.

Les mesures optiques ont été faites, autant que possible, à 0° ou dans le voisinage de cette température. Cependant on a fait quelques autres déterminations très précises à des températures comprises entre 0° et 12°. Les nombres obtenus, comparés aux résultats des expériences à 0°, montrent que la variation du pouvoir rotatoire magnétique du sulfure de carbone avec la température est très fidèlement représentée entre ces limites, par la formule donnée par M. Bichat [1]

$$R = 1 - 0,00104\,t - 0,000014\,t^2;$$

aussi avons-nous fait usage de cette formule pour réduire à 0° quelques observations faites à diverses températures. On détermi-

---

[1] *Journal de Physique*, 1re série, t. VIII, p. 204, 1879.

nait toujours les deux positions du plan de polarisation obtenues en renversant le sens du courant dans les bobines. La source de lumière était, comme on l'a dit plus haut, un brûleur à gaz dans la flamme duquel était placé un globule de chlorure de sodium fondu.

Lorsque le tube de cuivre était refroidi à 0°, la température de la pièce où se trouvait l'appareil étant 12°, il y avait précipitation de vapeur d'eau sur les glaces qui fermaient le tube. On a remédié à cet inconvénient en entourant chaque extrémité du tube d'une petite caisse en bois, fermée d'un côté par une glace parallèle, et dans laquelle on desséchait l'air par de l'acide sulfurique.

Les mesures optiques, comme on le verra plus loin, ont une précision très grande; les pesées des dépôts d'argent se font avec une exactitude qui atteint $\frac{1}{2000}$, comme le prouve le contrôle fourni par la comparaison entre l'augmentation de poids au pôle négatif, et la diminution au pôle positif.

L'opération qui limite la précision est la comparaison intermédiaire avec le galvanomètre. Cet instrument qui est apériodique est très commode pour les mesures presque instantanées comme celles de la rotation du plan de polarisation. Cependant il se présentait, même dans ce cas, quelques petites causes d'erreur. Lorsqu'on fait passer dans ce galvanomètre un courant un peu fort, de $0^{amp},4$ environ, la lame mobile, brusquement lancée, dépasse un peu sa position définitive, et y revient ensuite plus ou moins vite; en moins d'une minute l'équilibre est généralement atteint. En outre il se produit parfois une perturbation plus grave : c'est que, pour un courant presque rigoureusement constant, la lame mobile se fixe parfois un peu au delà ou un peu en deçà de la position qu'elle devrait avoir. Ce déplacement, dans les conditions des expériences présentes, pouvait atteindre une division de l'échelle; il paraît dû à un léger déplacement des pivots au moment où la lame est brusquement déviée. En renversant le sens du courant et en faisant un nombre suffisant de lectures dans les deux sens, on éliminait presque complètement cette cause d'erreur. Lorsque le courant était rigoureusement constant, la moyenne des lectures l'était également.

Enfin il importait de faire les comparaisons dans des conditions identiques de température extérieure, sinon le magnétisme des aimants du galvanomètre pouvait varier légèrement. On a tenu

compte de cette condition, dans les comparaisons dont il sera question plus loin.

Le courant électrique était obtenu au moyen de couples à sulfate de cuivre de grandes dimensions; il était presque rigoureusement constant; néanmoins on a vu que, par suite de l'usage du galvanomètre, il pouvait s'introduire accidentellement des erreurs atteignant $\frac{1}{300}$, et que l'on éliminait en partie, en opérant comme il a été dit plus haut.

Il eût été préférable de se passer du galvanomètre comme intermédiaire et de mesurer directement la rotation du plan de polarisation pendant que le courant traversait le voltamètre, mais dans ces conditions le courant n'était jamais constant et augmentait de quelques millièmes de sa valeur entre le commencement et la fin de l'opération. Les mesures optiques faites à chaque instant eussent indiqué les variations du courant; mais il eût fallu que, pendant les cinquante minutes que dure l'opération, l'œil ne quittât pas la lunette de l'analyseur, et ces conditions fatigantes ne sont pas favorables à des mesures très précises. La lecture du galvanomètre était plus rapide et avec les précautions qui ont été prises donnait des indications suffisamment exactes.

On vient de voir que le courant des couples à sulfate de cuivre, qui était constant pendant les expériences optiques, ne l'était plus lorsqu'il traversait le voltamètre. Cette variation est due à ce que, pour rester autant que possible dans des conditions d'intensité assez voisines, on avait donné au voltamètre une résistance assez faible. Les lames d'argent présentaient chacune une surface immergée d'environ 1560^{mmq} et n'étaient éloignées que de 20^{mm}; par suite du passage du courant, le liquide s'échauffait et devenait meilleur conducteur, et en outre le dépôt d'argent qui pouvait atteindre $0^{mm},10$ diminuait la distance des électrodes de 0,005 de sa valeur. Pour ces diverses causes, le courant augmentait d'une manière continue. On mesurait alors les déviations du galvanomètre toutes les minutes, et parfois plusieurs fois par minute, on traçait une courbe des déviations par rapport au temps, et l'aire de cette courbe servait à calculer la déviation moyenne correspondant à un courant constant qui, pendant le même temps, aurait déposé dans le voltamètre l'argent que l'on avait recueilli. Pour faire les lectures du galvanomètre, on renversait fréquemment le sens du cou-

rant dans le galvanomètre seulement, et afin que cette opération n'apportât aucune erreur dans la mesure du temps, on avait disposé un commutateur spécial permettant de renverser le courant en ne l'interrompant que pendant une très petite fraction de seconde. La somme totale des pertes de temps ne pouvait dépasser une seconde, ce qui pour la durée totale de cinquante minutes ferait une erreur inférieure à $\frac{1}{3000}$.

Les compteurs qui servaient à mesurer le temps avaient été exactement comparés au régulateur du Laboratoire.

Les pesées d'argent n'étaient considérées comme bonnes que lorsque le poids d'argent, déposé au pôle négatif, était égal au poids d'argent disparu au pôle positif. Généralement, pour 1^{gr} d'argent déposé, cette égalité se vérifiait à quelques dixièmes de milligramme près.

Le Tableau qui suit résume les résultats déduits chacun de nombreuses séries d'observations très concordantes entre elles.

Déviation du galvanomètre.	Rotation à 0°C R_0.	Intensité absolue du courant I.	Rapport $\frac{R_0}{I}$.
	Bobine de 3256 *tours.*		
		amp	
307,50	141,70	0,3984	355,69
330,15	152,86	0,4300	355,50
313,48	143,94	0,4055	354,97
322,52	148,50	0,4185	354,83
362,70	167,70	0,4722	355,14
	Moyenne.....	355′,22.	
	Bobines de 3256 *tours et de* 1038 *tours, accouplées, soit* 4294 *tours.*		
330,15	201,62	0,4300	468,88
313,48	189,85	0,4055	468,18
322,52	196,00	0,4185	468,33
	Moyenne.....	468′,46.	

En divisant les deux moyennes obtenues et correspondant à un courant de 1 ampère, par les nombres de tours de fil des bobines employées dans chaque cas, on trouve

$$\frac{355',22}{3256} = 0',1090970,$$

$$\frac{468,46}{4294} = 0',1090964.$$

Les deux quotients sont identiques à 0,000001 près. Cependant la comparaison des nombres de la dernière colonne du Tableau qui précède montre que l'on a pu faire des erreurs de $\frac{1}{500}$ environ; en raison de la multiplicité des mesures, le résultat moyen

$$0',1090967$$

paraît exact à $\frac{1}{800}$ de sa valeur.

Ce nombre correspond à la double rotation due à un seul tour de fil parcouru par un courant égal à 1 ampère. Pour un courant égal à l'unité C.G.S, ou à 10 ampères, on aurait une double rotation de

$$1',090967$$

par tour, soit une solution simple de

$$0',545483;$$

en divisant ce nombre par 4π, on a, pour la constante cherchée,

$$\alpha = 0',0434082,$$

et en ajoutant la correction mentionnée plus haut, relative à la longueur du tube, soit en moyenne 0,000157 de la valeur totale, ce qui équivaut à 0',0000068, on obtient

$$\alpha = 0',04341 \quad (\text{C.G.S.});$$

telle est la valeur de la rotation du plan de polarisation des rayons jaunes d'une lampe à sodium, traversant 1^{cm} de sulfure de carbone à 0°, dans un champ magnétique égal à l'unité C.G.S. On peut rappeler ici les nombres déduits des mesures faites par d'autres méthodes, et dont il a été parlé plus haut. On a :

D'après MM. Gordon.....	0',0433	Déduit de l'observation de la raie verte du thallium à 12°.
» Lord Rayleigh.	0,0430	Déduit de l'observation à 18°.
» L. Arons.....	0,0439	Calculé de l'observation avec l'eau à 23°.

Le nombre $\alpha = 0',04341$ auquel j'ai été conduit par la méthode et les expériences qui viennent d'être exposées paraît exact à $\frac{1}{800}$ environ de sa valeur.

Ce nombre permet de mesurer avec la même approximation l'intensité absolue d'un courant électrique par la méthode que j'ai

proposée l'année dernière [1], en faisant usage de la formule donnée plus haut et que l'on peut écrire

$$I = \frac{R}{4\pi N \alpha}.$$

SÉANCE DU 3 JUILLET 1885.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 juin est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Morana (Ignace), Électricien, à Genève;
Guénod, Ingénieur Électricien, à Genève.

M. Gariel présente, au nom de M. Guérin, une pile dont les liquides ont été immobilisés et qui, par suite, est devenue transportable, qualité fort recherchée pour nombre d'applications. M. Guérin a obtenu ce résultat avantageux en employant à la place de l'eau une dissolution faite à chaud d'agar-agar, algue venant des pays d'extrême Orient. Par le refroidissement, le liquide se prend en une gelée solide et élastique. La proportion d'agar peut varier de 1 à 5 pour 100 environ et dépend des substances qui doivent être mélangées au liquide. Le modèle que M. Gariel a étudié est une pile Leclanché à agglomérer; sa force électromotrice est légèrement inférieure, $0^{volt},03$ à $0^{volt},04$, à celles des piles Leclanché ordinaires. La résistance d'un de ces éléments de moyennes dimensions est de $0^{ohm},9$ environ. On peut construire par le même procédé des piles d'autre modèle présentant les mêmes avantages.

M. Gariel présente, au nom de MM. Wiet et Larochelle, une pile destinée spécialement à produire l'incandescence d'un galvanocautère : c'est une pile formée de deux éléments, comprenant chacun 4 zincs et 5 charbons plongeant dans deux auges en verre contenant un liquide particulier. L'ensemble des zincs et des charbons est monté sur une planchette que l'on peut faire monter ou descendre à volonté à l'aide d'une vis, de manière à faire plonger plus ou moins les électrodes dans le liquide, ce qui permet de régler aisément le courant. Le liquide employé est composé dans des proportions déterminées de bichromate de potasse, d'acide chlorhydrique, d'oxyde rouge de mercure, d'acide sulfurique et d'acide chromique.

---

[1] *Comptes rendus*, t. XCVIII, p. 1253; 1884.

Cette pile est remarquable en ce qu'elle ne se polarise que fort lentement; lorsqu'on la met en action, après un affaiblissement qui ne dure guère que 1^m, le courant augmente rapidement d'intensité ; en l'employant à faire rougir un galvanocautère, l'intensité a augmenté pendant 15^m, puis a diminué, et c'est seulement au bout de 30^m environ que le courant était retombé à l'intensité initiale. Le maximum avait atteint 30 ampères. Dans une autre expérience, on maintint le courant à une intensité constante de 19 ampères, en faisant varier l'enfoncement des électrodes; ce n'est qu'après 45^m que le courant commença à faiblir au-dessous de cette valeur.

Cette pile paraît donc appelée à rendre des services non seulement en chirurgie, mais aussi dans d'autres circonstances.

La force électromotrice est un peu supérieure à celle des piles au bichromate : la résistance de la pile étudiée n'atteint pas $0^{ohm},1$.

Il est intéressant de signaler que, par suite de la présence de l'oxyde de mercure, les zincs restent toujours amalgamés. De plus, la température s'élève considérablement : dans une expérience elle a atteint 91°. M. Gariel pense que cette variation de température joue un rôle important dans la croissance de l'intensité.

Sur la demande de M. le Président, M. Guérin donne quelques détails pratiques sur les conditions d'emploi de l'agar.

M. Cazes présente à la Société deux photographies d'éclairs prises pendant l'orage qui a éclaté à Paris le 28 juin dernier.

Les clichés au gélatinobromure du format $0^m,18 \times 0^m,24$ ont été obtenus avec un objectif rectiligne de $0^m,364$ de foyer diaphragmé à $0^m,047$.

Les épreuves positives ont été tirées sur papier. La première reproduit presque en entier un *éclair simple* ayant jailli à $8^h 56^m$ du soir entre un nuage et le sol à une distance de 300^m à 400^m de l'appareil; la longueur de la partie photographiée peut être évaluée à 200^m. On y remarque, autour d'un axe très étroit et très brillant, une sorte de gaine plus pâle que M. Cazes compare à la *flamme* qui accompagne les étincelles de la bobine d'induction.

La deuxième représente une portion d'*éclair ramifié* avec branches principales atteignant le sol; il a éclaté à $8^h 59^m$ à une distance de 900^m à 1200^m et la partie photographiée peut avoir environ 600^m.

Une épreuve de chacun de ces éclairs est déposée aux archives de la Société.

M. Lippmann indique un dispositif qui permet d'obtenir sans calcul le potentiel électromagnétique dû à un courant i, et pris le long d'une droite finie BC. On dispose trois bobines égales α, β, γ, aux trois sommets d'un triangle équilatéral, et de telle manière que leurs axes forment un triangle équilatéral ABC. L'intégrale du champ magnétique prise de B en C est dans ce cas égale exactement à $4\pi ni$, n étant le nombre de tours de fil enroulé sur chaque bobine. La démonstration de ce théorème s'étend d'elle-même au cas d'un polygone régulier de n côtés. On peut d'ailleurs s'épargner la peine de construire les bobines β et γ, et cela de deux manières différentes.

Il suffit de mettre la bobine α successivement en β et γ, et de déterminer expérimentalement la correction due à la suppression de β et γ. Ou bien encore, on peut mettre la bobine α en β et γ et construire deux bobines plus petites δ et δ' placées sur BC, telles que leur action sur BC, prise en sens inverse, compense celle de β et γ. Les bobines δ et δ' remplacent β et γ.

M. Dufet communique à la Société le résultat de la comparaison entre la formule de Gladstone $\frac{n-1}{d} = \text{const.}$ et les mesures expérimentales. Quand la densité d'un corps transparent varie par compression ou par mélange avec d'autres corps, la loi de Gladstone exprime de très près les phénomènes. Quand la densité varie par une élévation de température, elle n'est plus aussi vraie. En admettant l'interprétation donnée pour cette loi, que les corps transparents se comporteraient comme des molécules réfringentes plongées dans un milieu identique à l'éther du vide, on trouve que l'*indice moléculaire*, c'est-à-dire le retard produit par l'épaisseur 1 du milieu matériel, n'est pas constant comme le voudrait la loi de Gladstone. En appelant n cet indice, la quantité $\frac{1}{n-1}\frac{dn}{dt}$ est négative dans tous les liquides, sensiblement constante et voisine de $-0{,}0007$. C'est ce qui résulte de la discussion des expériences personnelles de M. Dufet et de celles des expérimentateurs précédents.

Pour les solides, cette quantité change de signe et est toujours voisine de $+0{,}00003$, ce qui permet d'expliquer par la valeur du coefficient de dilatation les différences constatées dans le sens de la variation de l'indice de réfraction des solides avec la température. Cette loi n'est du reste qu'une approximation, n'atteignant pas les phénomènes de double réfraction.

Enfin, les dissolutions très chargées de sel (par exemple, chlorure de zinc) se comportent comme les solides; moins chargées, elles suivent la loi de Gladstone; plus étendues encore, elles se comportent comme les liquides.

Sur un dispositif qui permet d'obtenir sans calcul le potentiel magnétique dû à un système de bobines; par M. Lippmann.

On sait que la détermination du potentiel magnétique dû à une bobine suppose, en général, que l'on connaisse les dimensions de chaque spire et que l'on évalue ensuite une série d'intégrales; le calcul est assez compliqué pour que la discussion de l'approximation numérique finale présente quelque difficulté. Il y a donc intérêt, au point de vue des mesures absolues qui impliquent la détermination d'un potentiel magnétique, à signaler un dispositif

particulier qui fournit le résultat final à l'aide d'une formule simple et rigoureuse, n'exigeant ni mesures ni corrections.

Supposons qu'au lieu d'une seule bobine on en prenne trois pareilles α, β, γ; qu'on les dispose aux sommets d'un triangle équilatéral, et de telle manière que leurs axes soient les trois côtés d'un triangle équilatéral ABC.

Je dis que la variation du potentiel magnétique dû à ce système et pris de B en C est égale *exactement* au produit $4\pi ni$, i étant l'intensité du courant et n le nombre de spires portées par chaque bobine. Pour le démontrer, il suffit de remarquer que, si l'on prend l'intégrale des actions magnétiques exercées par la bobine α, considérée isolément, tout le long du contour du triangle ABC, cette intégrale est exactement égale à $4\pi ni$, parce que le contour du triangle est une ligne fermée. D'autre part, on peut remplacer l'action exercée par α sur le côté CA par l'action de γ sur le côté BC; de même, on peut remplacer l'action de α sur le troisième côté CA par l'action de β sur le côté BC; de sorte qu'en définitive l'action du système des trois bobines sur le côté BC est égale à la somme des actions exercées par α sur les trois côtés de ABC, c'est-à-dire à $4\pi ni$, ce qu'il fallait démontrer.

Donc, dans toutes les mesures où il sera nécessaire de connaître *a priori* l'intégrale des actions magnétiques dues à un courant i le long d'une droite finie BC, on pourra employer le système des trois bobines; et il sera plus simple d'employer trois bobines qu'une seule.

La démonstration donnée plus haut pour le cas du triangle équilatéral s'applique sans difficulté au cas d'un polygone régulier de n côtés.

Sur la loi de Gladstone et la variation de l'indice moléculaire;

par M. H. Dufet.

I. La loi de Gladstone $\frac{n-1}{d} = \text{const.}$ a été établie par ses auteurs indépendamment de toute idée théorique. Elle revient, comme l'a

fait remarquer M. Mallard [1], à admettre que les corps transparents se composent de molécules réfringentes distribuées dans un milieu identique à l'éther du vide. Si l'on considère en effet une onde plane limitée à une surface égale à l'unité et se déplaçant d'une quantité e, petite en valeur absolue, mais grande par rapport aux dimensions des molécules, sur chacune des normales communes aux deux ondes se trouvera un nombre égal de molécules; le retard éprouvé sera donc le même sur chacun de ces points et la deuxième onde sera animée de mouvements concordants de même que la première. Si l'on appelle ε l'épaisseur de molécules traversées par chaque normale, et n l'indice du milieu moléculaire, le retard pour chaque point de l'onde sera

$$e - \varepsilon + \varepsilon n,$$

cette équation pouvant d'ailleurs être considérée comme définissant d'une manière expérimentale la quantité n.

Donc, en appelant N l'indice apparent du corps,

$$Ne = e - \varepsilon + \varepsilon n, \quad N - 1 = \frac{\varepsilon}{e}(n - 1).$$

$\frac{\varepsilon}{e}$ est égal au volume v occupé par les molécules dans le volume 1 du corps; d'où

$$N - 1 = v(n - 1).$$

La quantité v est proportionnelle à la densité du milieu; on a donc

$$\frac{N - 1}{d} = \text{const.},$$

si l'on suppose constant l'*indice moléculaire* n.

Cette conséquence s'applique aux milieux anisotropes et à toutes les longueurs d'onde. C'est donc dans le milieu moléculaire seul que se produiraient les phénomènes de dispersion et de double réfraction, et cette dernière en particulier ne dépendrait pas de la forme des mailles du réseau cristallin, ou du moins n'en dépendrait qu'en tant que cette forme est en relation avec la symétrie de la molécule. C'est du reste sur une hypothèse toute semblable que

---

[1] Mallard, *Traité de cristallographie*, t. II, p. 476.

M. Mallard a appuyé son explication d'un grand nombre de phénomènes intéressants dans les milieux cristallins, et en particulier de la polarisation rotatoire.

II. Jusqu'à quel point peut-on regarder n comme constant? Il semble bien qu'il en soit ainsi quand, la température restant constante, on fait varier par compression la densité du milieu.

C'est ce qui résulte des expériences de M. Jamin sur la variation d'indice de l'eau comprimée, et surtout de celles plus récentes de M. Quincke, comparées aux déterminations des coefficients de compressibilité faites par M. Grassi.

On peut encore faire varier la densité d'un corps par voie de mélange. La formule de Gladstone donne pour l'indice x d'un corps de densité D, formé d'un poids p d'un corps d'indice N et de densité d et d'un poids $1-p$ d'un corps d'indice N′ et de densité d', la formule

$$\frac{x-1}{D} = p\frac{N-1}{d} + (1-p)\frac{N'-1}{d'}.$$

Cette formule suppose expressément qu'il s'agit de corps formant de véritables mélanges, c'est-à-dire ne réagissant pas chimiquement l'un sur l'autre. On sait que les recherches de Wüllner, de Landolt et plus récemment de M. B.-C. Damien les ont conduits à des nombres très rapprochés des nombres calculés. Les auteurs indiquent, il est vrai, que l'exactitude est plus grande en remplaçant l'indice par le terme constant A de la formule de Cauchy; ceci reviendrait à dire que l'écart entre l'expérience et le calcul diminue avec la réfrangibilité des rayons, dans le *spectre visible;* car au delà la constante A n'a plus guère de signification, vu la nécessité d'introduire dans la formule de dispersion un terme en λ^2 pour rendre compte des radiations obscures (formule de Briot).

Dans certains cas tout au moins, cet accord, plus satisfaisant avec la constante A, semble tenir à ce que les différents indices mesurés entrent dans le calcul de cette constante, qui devient alors une sorte de moyenne.

L'influence considérable d'un changement de température sur l'indice de réfraction des liquides contribue d'ailleurs à rendre plus difficiles ces vérifications.

Cet inconvénient n'existe pas dans les mélanges solides, comme ceux qu'on obtient en faisant cristalliser ensemble des sels isomorphes. Les recherches que j'ai faites à ce sujet [1], vérifiées par d'autres expérimentateurs, prouvent que dans ce cas on peut admettre la loi de Gladstone, non comme *loi limite,* mais comme loi très approximative, pour toutes les radiations et pour les différents indices des corps anisotropes.

III. Quand la température d'un liquide s'élève, son indice diminue, en même temps que la densité; mais, si la loi de Gladstone donne le sens du phénomène, elle cesse de le régir numériquement. Pour tous les liquides étudiés avec quelque soin, la variation d'indice pour 1° est plus grande en valeur absolue que la variation qu'on déduirait de la formule de Gladstone, fait qui peut s'interpréter par la variation de l'indice moléculaire.

Soit, en effet, la relation

$$N - 1 = v(n - 1).$$

Par différentiation on en tire

$$\frac{dN}{dt} = \frac{dv}{dt}(n - 1) + v\frac{dn}{dt}$$

ou, en remplaçant v par sa valeur,

$$(1) \qquad \frac{1}{N - 1}\frac{dN}{dt} = \frac{1}{v}\frac{dv}{dt} + \frac{1}{n - 1}\frac{dn}{dt}.$$

Mais la densité du milieu est proportionnelle à v, d'où

$$\frac{d\Delta}{dt}v - \frac{dv}{dt}\Delta = 0.$$

L'équation (1) peut donc s'écrire

$$\frac{1}{N - 1}\frac{dN}{dt} - \frac{1}{\Delta}\frac{d\Delta}{dt} = \frac{1}{n - 1}\frac{dn}{dt}$$

ou, ce qui est plus commode pour le calcul, en appelant V le volume à t° du volume 1 à zéro,

$$\frac{1}{N - 1}\frac{dN}{dt} + \frac{1}{V}\frac{dV}{dt} = \frac{1}{n - 1}\frac{dn}{dt}.$$

---

[1] *Séances de la Société de Physique,* année 1878, p. 112 et année 1880, p. 161.

La formule de Gladstone exigerait que le second membre fût nul. J'ai trouvé qu'*il était toujours négatif, et que dans les divers liquides, de réfrangibilité et de dilatation très différentes, les valeurs que l'on obtenait ainsi étaient assez voisines les unes des autres.*

J'ai comparé d'abord à cette formule les liquides dont j'ai étudié les variations d'indice et en particulier l'eau. Les valeurs de $\frac{dN}{dt}$ sont celles que j'ai déduites de mes expériences entre 10° et 50° et la moyenne des autres expérimentateurs (¹) entre 10° et 0°. Les valeurs de $\frac{dV}{dt}$ sont déduites des Tables de M. Rossetti.

On trouve ainsi pour la raie D :

t.	$\frac{dN}{dt}$.	$N-1$.	$\frac{1}{N-1}\frac{dN}{dt}$.	$\frac{1}{V}\frac{dV}{dt}$.	$\frac{1}{n-1}\frac{dn}{dt}$.
0°	—0,0000065	0,3340	—0,000021	—0,000065	—0,000086
4	251	0,3339	73	0	73
10	515	0,3336	154	+0,000084	70
15	726	0,3333	218	149	69
20	909	0,3329	273	205	68
25	1078	0,3324	324	252	72
30	1228	0,3319	370	296	74
35	1357	0,3312	410	342	68
40	1462	0,3305	442	384	58
45	1538	0,3298	466	420	46
50	1582	0,3290	481	456	25

La constante de $\frac{dn}{dt}\frac{1}{n-1}$ paraîtra remarquable quand on réfléchira aux faibles variations de $\frac{dN}{dt}$ ou de $\frac{dV}{dt}$ qui suffiraient à altérer notablement la valeur du premier nombre.

L'expérience n'a pas montré que $\frac{dN}{dt}$ variât d'une manière notable pour les différentes couleurs. Ceci est parfaitement d'accord avec l'hypothèse de la constance de $\frac{dn}{dt}\frac{1}{n-1}$. Le calcul

(¹) MM. Jamin, Dale et Gladstone, Fouqué, Ruhlmann et Lorentz.

indique, en effet, entre les valeurs de $\frac{dN}{dt}$ relatives aux rayons extrêmes du spectre, une différence trop petite pour être sûrement montrée par l'expérience.

Je ne citerai ici *in extenso* que les résultats relatifs à l'eau. J'ai comparé à ce point de vue non seulement les liquides que j'ai étudiés, mais tous ceux étudiés par Dale et Gladstone, Landolt, Wüllner, etc., pour lesquels le coefficient de dilatation était suffisamment connu. Dans vingt-deux liquides étudiés par Landolt, dix-sept par Dale et Gladstone, je ne trouve d'exception relative au signe de $\frac{dn}{dt}\frac{1}{n-1}$ que pour deux liquides, l'acide propionique et l'éther amylacétique; mais les composés amyliques et propioniques présentent de telles variations dans leurs propriétés physiques avec le mode de préparation qu'il n'y a guère de comparaison possible entre les liquides d'origines différentes.

Ainsi donc, dans les liquides, l'*indice moléculaire* décroît quand la température augmente. Quant aux valeurs absolues de la quantité $\frac{1}{n-1}\frac{dn}{dt}$, il est aisé de voir combien il est difficile de les obtenir exactement. Sans parler de l'incertitude résultant de la différence possible entre les liquides étudiés optiquement et ceux étudiés au point de vue de la dilatation, je ferai remarquer qu'une erreur d'une unité sur le second chiffre significatif de $\frac{dN}{dt}$ est multipliée par $\frac{1}{N-1}$, et par suite dans les liquides peu réfringents produit une erreur de deux ou trois unités sur le premier chiffre significatif de $\frac{1}{n-1}\frac{dn}{dt}$.

Le fait sur lequel j'insisterai, c'est la constance de cette quantité pour l'eau. Le nombre obtenu pour l'eau se retrouve dans un certain nombre de liquides, au moins comme moyenne, et précisément parmi ceux dont le coefficient de dilatation paraît avoir été le mieux déterminé. Ces liquides sont les suivants :

Alcool (Dufet).
Térébenthène (moyenne).
Éther (Lorentz).
Acide acétique (Landolt).
Benzine (moyenne).
Alcool amylique (Landolt).
Acide phénique id.

Acétate de méthyle (Landolt).
Acide formique id.
Aniline (Dale et Gladstone).
Nitrobenzine id.
Iodure d'éthyle id.
Chloroforme id.
Glycérine (Wüllner).

Il semble bien que, dans les liquides très réfringents, la valeur absolue est plus grande (sulfure de carbone, bromure de phosphore), mais dans les liquides peu réfringents, en supposant à $\frac{1}{n-1}\frac{dn}{dt}$ la valeur constante que ce nombre possède pour l'eau — 0,00007, on resterait en deçà des erreurs d'expérience, car il y a bien peu de liquides dans lesquels $\frac{dN}{dt}$ soit connu à $\frac{1}{100}$ près.

IV. Dans les corps solides, le signe de la quantité $\frac{1}{n-1}\frac{dn}{dt}$ change, et elle devient positive. La diminution d'indice par une élévation de la température est toujours plus petite en valeur absolue que celle qu'on pourrait prévoir par l'application de la loi de Gladstone. La valeur qu'on trouve pour $\frac{1}{n-1}\frac{dn}{dt}$ est en général assez voisine de + 0,000030; de telle sorte que, dans les solides peu réfringents et moyennement dilatables, l'indice diminue par la température comme dans les liquides; dans des solides peu dilatables et moyennement réfringents, l'indice ne varie pas (crown), plus réfringents (flint) ou très peu dilatables (calcaire, béryl), l'indice augmente. Il ne serait pas vrai de dire, comme on l'a fait, que l'indice augmente toujours dans les corps très réfringents; l'aragonite, et surtout l'anglésite sont la preuve du contraire.

Nous pouvons dès lors substituer à la variation, en apparence complètement indéterminée et irrégulière, de l'indice la variation toujours dans le même sens de l'*indice moléculaire;* de sorte qu'il est possible d'indiquer *a priori*, dans un solide dont la dilatation est connue, le sens et jusqu'à un certain point la grandeur de la variation d'indice.

Il faut d'ailleurs bien remarquer que ce qui précède ne s'applique pas à la double réfraction; les divers *indices moléculaires* d'un corps biréfringent varient sous l'influence de la température

de quantités inégales entre elles, bien que n'étant pas très éloignées les unes des autres, de sorte que la dilatation *cubique* ne permet en rien de prévoir les variations de la double réfraction.

Les différents verres étudiés par M. Fizeau conduisent, pour $\frac{1}{n-1}\frac{dn}{dt}$, à des nombres variant entre + 0,000026 et + 0,000030.

Pour les cristaux cubiques, on a

	$\frac{1}{n-1}\frac{dn}{dt}$.
Fluorine	+ 0,000030
Sel gemme	52
Sylvine	42
Diamant	15
Blende	61

Pour des cristaux uniaxes, on a, vers 30° :

	$\frac{1}{n-1}\frac{dn}{dt}$.	
	Indice ordinaire.	Indice extraordinaire.
Quartz	+0,000024	+0,000022
Béryl	23	22
Calcite	17	38

Pour les biaxes, on tire des mesures de Rudberg pour l'aragonite et de celles d'Arzruni sur les trois sulfates isomorphes de baryte, de strontiane et de plomb, en prenant pour ces derniers la moyenne des résultats relatifs aux différentes raies :

	INDICE MAXIMUM.	INDICE MOYEN.	INDICE MINIMUM.
Aragonite	+0,000040	+0,000041	+0,000041
Barytine	31	30	20
Célestine	32	36	27
Anglésite	40	44	32

V. Dans le cas d'une dissolution, les molécules du solide dissous doivent conserver leurs propriétés optiques. Il est impossible d'admettre qu'il en soit autrement quand on voit les molécules dissymétriques affirmer cette dissymétrie par l'existence de l'hémiédrie non superposable dans les cristaux, et par celle du pouvoir rotatoire dans les dissolutions.

S'il en est ainsi, la dissolution d'un sel devra se comporter au point de vue de la chaleur d'une manière intermédiaire entre celle dont se comporte un liquide et celle dont se comporte un solide; dans le premier cas l'*indice moléculaire* décroît, dans le second il croît avec la température. Donc une dissolution devra se rapprocher de la loi de Gladstone, s'en écartant dans le même sens que les solides, si elle est extrêmement concentrée, en sens inverse si elle est étendue, les variations étant toujours plus petites en valeur absolue.

Les expériences de M. Wüllner sur des dissolutions de chlorure de zinc, dont il a déterminé en même temps la dilatation, donnent comme moyennes des valeurs de $\frac{1}{n-1}\frac{dn}{dt}$ relatives des trois raies de l'hydrogène, les résultats suivants :

		$\frac{1}{n-1}\frac{dn}{dt}$.
Zn Cl	0,7181	+0,000029
HO	0,2819	
Zn Cl	0,5744	+0,000015
HO	0,4256	
Zn Cl	0,4787	—0,000011
HO	0,5213	
Zn Cl	0,3590	—0,000031
HO	0,6410	

Les expériences de M. Fouqué sur les dissolutions de chlorure de zinc, celles de M. Goldschmidt sur les dissolutions d'iodure double de potassium et de mercure (liqueur de M. Thoulet) conduisent à des résultats analogues.

VI. En résumé, des mesures de variation d'indice faites jusqu'à présent pour des corps dont on connaît la dilatation, il ressort :

Que, dans les liquides, la dérivée de l'indice en fonction de la température, toujours négative, est aussi plus grande en valeur absolue que celle qu'on déduirait de la loi de Gladstone; dans les solides, elle est tantôt positive, tantôt négative et dans ce dernier cas plus petite en valeur absolue que celle qu'on déduit de la loi de Gladstone; enfin les dissolutions très concentrées se comportent comme les solides, et plus étendues, comme les liquides.

Ces faits peuvent s'interpréter, comme on le fait pour la loi de Gladstone elle-même, par l'existence de molécules réfringentes disséminées dans l'éther du vide.

On a alors les lois suivantes :

1° Dans tous les liquides, l'indice moléculaire diminue quand la température augmente; dans les liquides peu réfringents, la quantité $\frac{1}{n-1}\frac{dn}{dt}$ est sensiblement la même. En particulier pour l'eau, cette quantité est constante de 0° à 50°, ce qui est en rapport avec ce fait que le maximum de densité ne coïncide pas avec le maximum d'indice.

2° Dans tous les solides, l'indice moléculaire augmente avec la température; la quantité $\frac{1}{n-1}\frac{dn}{dt}$ a des valeurs qui sont voisines les unes des autres, sans être identiques, comme le montre la variation de la double réfraction.

3° Les solides dissous conservent leur propriété.

4° La dérivée de l'indice moléculaire ne semble pas tendre vers zéro quand la longueur d'onde augmente ; dans les liquides très réfringents, elle paraît seulement diminuer en se rapprochant d'une valeur voisine de celles que présentent les liquides peu réfringents.

SÉANCE DU 17 JUILLET 1885.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 3 juillet est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

M. Arthaud, Chef des travaux histologiques au laboratoire de Physiologie générale du Muséum.

MM. Bourgeois, Répétiteur à l'École Polytechnique.

Chamantoff (Nicolas), Préparateur au Cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg.

Gomez (Francisco Lopez), Professeur de Physique à l'Institut de Valladolid.

Merlin, Professeur au lycée Condorcet.

M. le Président annonce la mort de M. Duchesne, préparateur de Physique au Collège de France.

M. le Secrétaire général signale l'envoi d'une Note de M. Benavente y Montalvo, Professeur de Physique à Rioseco, sur une disposition téléphonique présentant une sensibilité remarquable.

M. Bourbouze adresse la description de deux modèles d'hygromètres. Le premier est disposé pour avoir la température du point de rosée au moment de la formation d'anneaux colorés; le deuxième, à thermomètre donnant directement la température de l'enveloppe métallique pour la même détermination.

M. Émile Reynier présente à la Société un procédé aussi simple qu'efficace pour soustraire automatiquement les zincs à l'action locale des liqueurs acides en circuit ouvert.

Ce procédé, nouveau dans son application aux couples voltaïques, consiste à recouvrir l'électrode négative d'une cloche étanche, dispositif analogue à celui de l'appareil connu sous le nom de *briquet à hydrogène*. Les bords inférieurs de la cloche doivent désaffleurer un peu l'électrode protégée. Dans ces conditions, l'hydrogène dégagé par l'attaque locale du zinc monte dans la cloche et en chasse le liquide, mettant ainsi le zinc presque entièrement à sec. Dès qu'on ferme le circuit, l'hydrogène emprisonné se trouve absorbé en partie, comme il l'est dans la pile à gaz de Grove, et le liquide peut venir en contact avec l'électrode négative sur une surface plus étendue.

M. Émile Reynier montre cinq dispositifs différents de zincs à cloche; on pourra en imaginer d'autres.

Le système est applicable non seulement aux électrodes en zinc, mais encore à tous les négatifs solubles attaquables avec dégagement d'hydrogène : fer, fonte, sodium, etc.

Il faut remarquer qu'un zinc à cloche ne travaille que par sa face inférieure. Pour tirer le meilleur parti possible d'un tel négatif, il faut disposer le positif de telle manière que sa surface soit en regard de la face zinc accessible au liquide.

S'il s'agit d'un couple à faible débit, l'agencement est fort simple : on suspend le zinc à la partie supérieure de l'élément, en présence d'un positif vertical plongeant, comme à l'ordinaire, jusque vers le fond du récipient. La résistance est un peu plus grande qu'avec un zinc vertical nu, mais beaucoup moindre qu'avec un vase poreux. Un petit accumulateur télégra-

phique *zinc amalgamé plomb peroxydé,* monté dans le format des couples Leclanché ordinaires, a une résistance de $0^{ohm},4$; sa force électromotrice est $2^{volts},35$. Dans ce modèle on a évité de rendre la cloche tout à fait étanche, ce qui pourrait amener la séparation complète du zinc et du liquide, et empêcher la fermeture du circuit.

L'application des négatifs à cloche aux grandes piles et aux accumulateurs au zinc à gros débit présente encore certaines difficultés que M. Reynier espère surmonter.

M. Blavier signale l'influence des orages sur les fils conducteurs des lignes souterraines, qu'on pouvait croire à l'abri des perturbations électriques de l'atmosphère, puisque le conducteur, isolé par une couche de gutta-percha, est entouré d'une armature protectrice en fer ou en fonte en relation avec la terre. Il arrive cependant, parfois, qu'au moment où la foudre éclate au milieu d'une ligne souterraine, on observe dans les postes extrêmes des étincelles plus ou moins vives, comme dans le cas où le fil conducteur est aérien.

Cet effet ne peut s'expliquer que par la faible conductibilité du terrain qui entoure le câble aux environs du point où se manifeste l'orage. Sous l'influence des nuages électrisés, le conducteur reste à l'état neutre; mais l'armature protectrice prend une charge de fluide contraire, qui devient libre subitement au moment où éclate un éclair. Cette charge ne disparaît pas instantanément; elle suit le conducteur dans les deux directions opposées au moins sur une certaine longueur. Deux effets doivent se produire: en premier lieu, deux courants induits de sens contraire dont la différence seule agit sur les appareils des postes extrêmes; en second lieu, un effet électrostatique, tenant à ce que la charge extérieure, étant libre au moins pendant un instant, réagit sur le conducteur intérieur qui prend de l'électricité de nom contraire par les points en communication avec le sol aux postes extrêmes. C'est surtout à ce dernier effet que doivent être attribués, suivant M. Blavier, les effets constatés dans les bureaux télégraphiques.

M. le Colonel Sebert entretient la Société d'une question qui se rattache par plusieurs points à diverses branches de la Physique, celle de la mesure de la sensibilité des amorces électriques.

Si l'on considère spécialement une amorce à fil de platine, le passage d'un courant, arrivant par des fils conducteurs isolés dans un fil fin très résistant formant pont entre les extrémités de ces derniers, détermine dans ce fil une élévation de température qui doit devenir suffisante, au moins en un point, pour déterminer l'inflammation d'un corps prenant feu à basse température, lequel sert d'*allumeur* pour enflammer la charge de poudre de l'amorce.

On a souvent pris la résistance du fil de platine pour mesure de la sensibilité de l'amorce. Il est facile de voir que cette détermination n'est pas suffisante pour caractériser une amorce. Outre que cette résistance est fonction de la température que développe le passage du courant et n'est pas très facile à

mesurer exactement, on reconnaît que le problème est beaucoup plus complexe, car d'une part l'allumeur joue un rôle dans la sensibilité de l'amorce, et d'autre part, par suite de la conductibilité thermique des conducteurs réunis par le fil de platine et des effets de rayonnement, la température ne s'élève pas uniformément dans toute la longueur du fil de platine et la partie médiane seule est souvent portée en rouge; on peut d'ailleurs diminuer les pertes par rayonnement dans cette partie médiane en formant avec le fil des spires qui rayonnent les unes sur les autres, comme l'a fait M. le Commandant du génie Bardonnaut.

Il résulte de là que l'on ne peut chercher à réduire indéfiniment la longueur du fil inflammateur en augmentant en même temps sa résistance électrique par unité de longueur, ce qui, *a priori*, paraîtrait être le résultat à obtenir, et, par suite, la résistance électrique du fil ne suffit pas pour caractériser une amorce.

L'élément qui paraît mieux représenter la sensibilité d'une amorce électrique, en tenant compte de tous les éléments qui rentrent dans sa composition, paraît être le *retard d'inflammation*, c'est-à-dire le temps qui s'écoule entre le moment où l'on ferme le circuit et celui où l'inflammation de la charge se produit. On suppose, bien entendu, que pour la comparaison des amorces on se place dans des conditions identiques, sous le rapport de la pile employée et de la résistance interposée, de façon à faire traverser les amorces par un courant de même intensité.

En mesurant ce retard à l'aide d'un appareil spécial, M. le Colonel Sebert a trouvé que dans des amorces considérées comme très bonnes, placées dans les conditions ordinaires de leur emploi, il atteignait généralement $\frac{2}{100}$ à $\frac{3}{100}$ de seconde et pouvait s'élever à plusieurs dixièmes dans des amorces moins bien faites.

Il a réussi, en se guidant sur les résultats obtenus dans ces mesures, à faire apporter à la fabrication des amorces des perfectionnements qui ont réduit le retard à $\frac{1}{1000}$ ou $\frac{2}{1000}$ de seconde et qui ont permis d'assurer une plus grande régularité de fonctionnement.

Ce procédé de mesure de la sensibilité paraît, en somme, présenter des avantages, mais s'il doit être admis dans la pratique il conviendrait de définir les conditions dans lesquelles il doit être normalement appliqué et, notamment, de choisir l'intensité du courant qu'il convient d'adopter uniformément pour ces déterminations.

M. le Colonel Sebert serait heureux si les détails dans lesquels il est entré amenaient quelques-uns des Membres de la Société à porter leur attention sur ces recherches et les conduisaient à fixer les conditions les meilleures à admettre.

La question se complique d'ailleurs beaucoup, si l'on considère également les amorces voltaïques, dans lesquelles l'inflammation est déterminée par le passage d'une étincelle jaillissant entre deux conducteurs isolés et rencontrant sur son passage des particules inflammables.

Il paraît surtout difficile de pouvoir obtenir une comparaison entre les

deux genres d'amorce qui s'emploient dans des conditions très différentes, surtout sous le rapport des courants à employer pour déterminer l'inflammation.

M. Démichel présente, au nom de M. G. Sire, de Besançon, un hygromètre à condensation, identique en principe à celui de Regnault, mais dont la construction est notablement différente. En voici la description succincte.

Il se compose d'un tube métallique, présentant en son milieu un renflement cylindrique dont l'épaisseur de paroi est très petite. Deux anneaux de même diamètre et de même hauteur que celui du renflement se placent l'un au-dessus, l'autre au-dessous de celui-ci, mais ils en sont isolés par une garniture intérieure en velours qui s'oppose à la communication de la chaleur, de manière que l'ensemble présente extérieurement l'aspect d'un tube métallique unique, formé de trois parties rapprochées. Ces trois pièces sont argentées ou dorées.

La manipulation est la même que celle des hygromètres Regnault ou Alluard. Le dépôt de rosée se fait sur l'anneau du milieu, qui se ternit tandis que les autres restent brillants; le contraste est donc facile à saisir.

C'est l'avantage de cette disposition comparée à celle de l'hygromètre ordinaire, mais en outre la forme circulaire du tube permet à l'observateur d'observer sous des incidences diverses sans se déplacer.

Enfin, toutes les pièces étant cylindriques, la construction de l'appareil est très simple, par suite son prix est moins élevé que celui des instruments déjà connus.

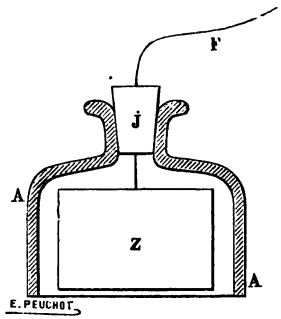
Sur la protection des zincs dans les couples voltaïques; par M. Émile Reynier.

Les liqueurs acides, employées comme dissolvants de l'électrode négative dans la plupart des piles, attaquent localement le zinc, en circuit ouvert et en circuit fermé. On atténue cette attaque parasite par divers artifices, tels que l'amalgamation et la réduction de la surface des zincs; mais on ne réussit pas à la supprimer complètement en circuit fermé.

En circuit ouvert, on peut arrêter l'attaque des zincs, en les retirant du liquide. Ce moyen est employé depuis Wollaston, avec des variantes plus ou moins heureuses. Mais les divers dispositifs employés (treuils, bascules, etc.) exigent l'intervention d'un opérateur.

Le procédé que je viens proposer, pour protéger en circuit ouvert le zinc et le liquide, est efficace autant que le moyen de Wollaston; il a l'avantage d'être automatique. Ce procédé, nouveau dans son application aux couples voltaïques, consiste à recouvrir le zinc d'une cloche étanche faite en une matière inattaquée par le liquide de la pile : dispositif analogue à celui de l'appareil connu sous le nom de *briquet à hydrogène*.

Fig. 1.



Les bords inférieurs de la cloche doivent désaffleurer un peu l'électrode protégée. Dans ces conditions, l'hydrogène dégagé par l'attaque locale du zinc monte dans la cloche et en chasse le liquide, mettant ainsi le zinc presque entièrement à sec.

Dès qu'on ferme le circuit, l'hydrogène emprisonné se trouve en partie absorbé (comme il l'est dans la pile à gaz Grove), et le liquide peut venir en contact avec l'électrode sur une surface plus étendue.

1^{gr} de zinc, localement dissous, précipite 341^{cc} d'hydrogène; en d'autres termes, 1 volume de zinc dégage 2452 volumes d'hydrogène. On ne subit donc qu'une très petite dépense de zinc (et d'acide) pour mettre le zinc à l'abri.

Les dispositifs qu'on peut employer sont assez variés. J'en montrerai un; il sera facile d'en imaginer d'autres.

La *fig.* 1 montre un zinc Z, placé dans une cloche à tubulure AA. Le bouchon *j* qui ferme cette tubulure, fait joint sur le fil conducteur F dont le zinc est pourvu.

S'il s'agit d'un zinc étroit, la cloche tubulée peut se réduire à un simple tube de verre.

On peut, dans le cas d'un zinc long et étroit, se contenter de le recouvrir d'un tube de caoutchouc qui le désaffleure quelque peu à la partie inférieure. La petite saillie du tube retient l'hydrogène protecteur.

Un dispositif plus simple encore consiste à recouvrir le zinc d'une couche isolante et inattaquée sur toutes ses faces, hormis l'inférieure, laquelle est un peu concave, de manière à retenir l'hydrogène.

Il y a un autre moyen d'éviter le joint sans donner au zinc une préparation spéciale : on fait contourner au conducteur le bord inférieur de la cloche, en ayant soin de le protéger par une enveloppe isolante contre le contact du liquide.

Il n'est pas indispensable que la cloche soit en matière isolante. On peut la faire en toute substance conductrice inattaquable par le liquide; le plomb, par exemple, est employable dans la plupart des couples; mais il faut agencer l'ensemble de manière à éviter tout contact entre la cloche et les électrodes.

Je pourrais présenter d'autres formes de zincs à cloche; mais je crois en avoir montré assez pour mettre le principe en évidence.

Je n'ai pas besoin d'ajouter que la cloche serait applicable à toute électrode négative faite en un métal autre que le zinc, et attaquable par le liquide avec dégagement d'hydrogène : telles sont les électrodes en fer ou en fonte, qu'on a parfois cherché à employer pour obtenir des piles économiques.

Il faut remarquer que les zincs à cloche ne travaillent guère que par leur face inférieure. Pour tirer le meilleur parti possible d'un négatif ainsi agencé, on doit disposer le positif de telle manière que sa surface soit en regard de la face zinc accessible au liquide.

S'il s'agit d'un couple à faible débit, l'agencement est facile : on suspend le zinc à la partie supérieure de l'élément. La résistance est un peu plus grande qu'avec un zinc vertical, mais elle est beaucoup moindre qu'avec un vase poreux. Je montrerai tout à l'heure un exemple de cette disposition.

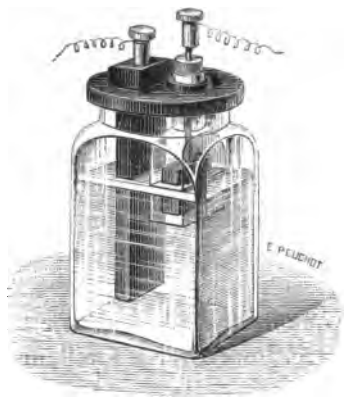
Pour les couples à grand débit, il se présente quelques difficultés. On reconnaît d'abord la nécessité de développer le zinc dans le sens horizontal; mais alors on n'obtient pas l'immersion

complète de la face inférieure du zinc en circuit fermé. Si cette face n'est pas plane et bien horizontale, si elle est superficiellement hétérogène, le liquide ne la touche qu'à certaines places.

De plus, des électrodes positives verticales ne conviennent pas en présence d'un zinc horizontal. Un positif horizontal, qui regarderait mieux le zinc, ferait obstacle au renouvellement du liquide. Il faudrait un positif multiple, composé d'éléments verticaux peu développés dans le sens de la hauteur. La construction économique de ce positif multiple est à l'étude. Je ne puis donc pas, quant à présent, montrer l'application des zincs à cloche aux couples à grand débit.

Je n'ai à présenter, comme modèle réalisé, qu'un petit accumulateur au zinc destiné aux usages télégraphiques (*fig.* 2).

Fig. 2.



Il se compose d'un positif en plomb peroxydé et d'un zinc amalgamé protégé par une cloche de verre. Les deux électrodes sont suspendues à un couvercle de bois posé sur le récipient de verre. Le liquide est de l'eau acidulée sulfurique au cinquième.

Les réactions de la pile sont, d'une part la production d'un équivalent de sulfate de zinc qui se dissout, d'autre part la formation d'un équivalent de sulfate de plomb insoluble et la combustion d'un équivalent d'hydrogène.

L'électrode positive peut être régénérée par électrolyse; quant

à la négative, il est plus simple de la remplacer lorsqu'elle est dissoute.

La force électromotrice de cette pile est $2^{volts},36$ plus grande que celle de tout autre couple à un seul liquide.

La résistance est $0^{ohm},4$ environ.

En court circuit, l'intensité du courant serait de 6 ampères; le régime de 1 ampère peut être soutenu longtemps : ce débit est 10 à 20 fois plus fort qu'il n'est nécessaire pour les applications aux usages téléphoniques et télégraphiques.

La capacité électrochimique totale est environ 54000 coulombs.

Grâce à sa force électromotrice élevée et constante, un seul de ces couples remplacerait aisément, dans la pratique, 2 ou 3 couples Leclanché.

Il reste à savoir pendant combien de temps l'appareil peut conserver sa charge. L'expérience n'a pas pu prononcer encore; mais je prévois qu'on obtiendra une conservation de charge de plusieurs mois. La perte se fera sentir principalement sur l'électrode positive, par l'action du couple local plomb et peroxyde de plomb, qui tend à former deux équivalents de sulfate de plomb.

Sur l'électrode négative, on n'aura d'autre consommation de zinc que celle correspondant à la faible quantité d'hydrogène qui s'échappera de la cloche à cause de l'imperfection du joint supérieur. On pourrait, il est vrai, réaliser une fermeture presque absolue; mais alors il arriverait qu'à circuit ouvert le zinc se séparerait complètement du liquide : d'où l'impossibilité de fermer le circuit. Le volume d'hydrogène emprisonné entre une cloche étanche et un joint hydraulique mobile constitue un véritable appareil thermométrique et barométrique. Une élévation de la température ou un abaissement de la pression atmosphérique amène une dilatation du gaz captif et, par suite, un abaissement du joint liquide et l'isolement du zinc.

Grâce à l'imperfection du joint, le zinc reste toujours, à circuit ouvert, immergé de la faible quantité nécessaire pour entretenir le débit de la fuite. Le poids de zinc ainsi dissous est d'environ $1^{gr},5$ par mois. Cette perte est acceptable dans un appareil où la simplicité de construction est de première importance. On pourra l'éviter en fermant complètement la cloche; mais il faudra alors

assurer l'absorption de l'hydrogène en excès par un artifice spécial, tel qu'un appendice conducteur et insoluble plongeant toujours dans le liquide, et dont la fonction serait de fermer d'abord un couple à hydrogène, pour amorcer la fermeture de la pile sur l'électrode zinc.

L'application des négatifs à cloche aux grandes piles primaires et aux accumulateurs au zinc à gros débit présente certaines difficultés qui me paraissent surmontables. Les recherches poursuivies dans cette direction donneront, j'espère, des résultats intéressants, que j'aurai soin de faire connaître à la Société.

Nouvel hygromètre à condensation, son emploi pour la graduation des hygromètres à cheveu; par M. G. Sire.

L'hygromètre à condensation représenté *fig.* 1, au cinquième de grandeur naturelle, est une modification de l'hygromètre condenseur de Regnault. Il se compose d'un réservoir cylindrique A, en laiton mince, argenté et poli à l'extérieur, dans lequel on verse de l'éther dont on abaisse graduellement la température jusqu'à ce que la surface polie se ternisse par un léger dépôt de vapeur d'eau. L'abaissement de température est produit par la vaporisation de l'éther, que l'on active plus ou moins, en faisant passer à travers ce liquide volatil un courant d'air, courant réalisé de préférence par aspiration.

La température du point de rosée est donnée par un thermomètre t, dont le réservoir cylindrique plonge dans l'éther suivant l'axe de l'appareil; la température de l'air ambiant est fournie par un deuxième thermomètre t', installé dans le voisinage de l'instrument.

Deux anneaux B, C, de même diamètre, aussi en laiton mince, argenté et poli, sont fixés par l'intermédiaire d'un corps isolant, l'un au-dessus, l'autre au-dessous de la partie A du réservoir où se fait le dépôt de rosée. Il en résulte que cette partie de l'instrument présente à l'extérieur une surface cylindrique ayant même génératrice, mais partagée en trois zones de même hauteur par deux intervalles de $0^{mm},5$ environ. Le fond du réservoir à éther est formé d'un bloc d'ébonite.

Le diamètre du réservoir est de 27^{mm} dans sa partie la plus large, et sa hauteur de 50^{mm}. Il est surmonté d'un tube de verre V qui permet d'apprécier l'intensité du courant d'air qui traverse l'éther bulle à bulle, par suite de l'aspiration de l'air extérieur par un tube plongeur dont l'orifice aérien est en x. Enfin le tout est installé sur un pied P, qui fait partie de la disposition adoptée pour pro-

Fig. 1.

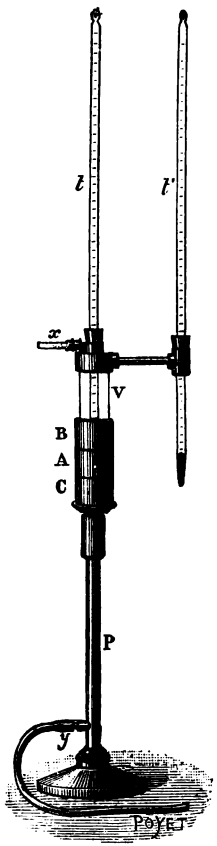
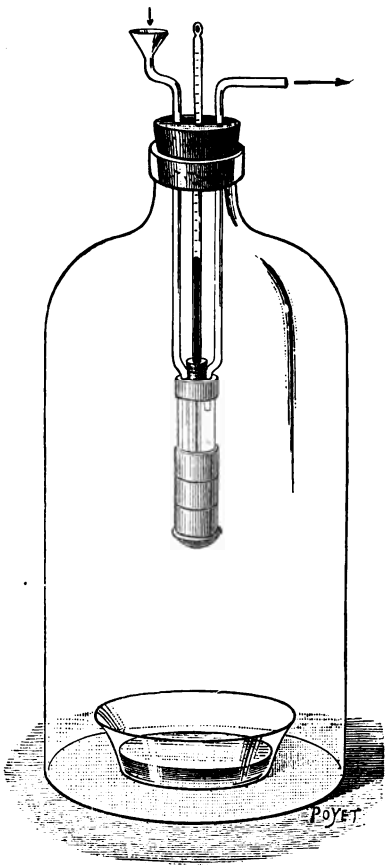


Fig. 2.



duire l'aspiration par la tubulure y, où se fixe un tuyau de caoutchouc relié à un aspirateur. A défaut d'aspirateur, on peut adapter ce tuyau à la tubulure x, et procéder par insufflation à l'aide d'une poire en caoutchouc, ou même avec la bouche.

Les points importants d'une semblable disposition sont les suivants :

1° Les zones extrêmes B, C, étant isolées du réservoir à éther par deux épaisseurs de velours de soie, leur surface reste constamment brillante dans les expériences, de sorte qu'il est très facile de juger, *par contraste,* des moindres changements qui surviennent sur la zone moyenne A.

2° La surface cylindrique offre l'avantage de faire apprécier ces changements dans tous les azimuts.

3° La présence des deux zones extrêmes ou anneaux, ainsi que le fond d'ébonite empêchant le réchauffement du réservoir par l'air ambiant dans les parties autres que celles où doit se faire le dépôt de rosée, on peut atteindre plus vite la température de ce dépôt, et la maintenir plus facilement stationnaire.

Habilement construit par M. Démichel, ce nouvel hygromètre à condensation se fait remarquer par des dimensions très réduites, sans être fragile : il est surtout portatif, d'une prompte installation et d'une grande sensibilité. Les prescriptions de Regnault pour la manœuvre de son instrument lui sont en tous points applicables.

Le petit volume de ce nouvel hygromètre à condensation permet, avec la disposition de la *fig.* 2, de l'introduire facilement dans une cloche en verre, par exemple pour déterminer l'état hygrométrique de l'intérieur de cette cloche. On voit que, si plusieurs hygromètres à cheveu sont disposés dans cet intérieur, dont on fera varier le degré d'humidité par des mélanges arbitraires d'eau et d'acide sulfurique, on pourra déterminer rigoureusement les indications de ces hygromètres, pour des fractions de saturation aussi rapprochées qu'on le voudra. Ce procédé expérimental constitue une méthode de graduation et de vérification très exacte pour les hygromètres à cheveu : elle est notamment plus expéditive que les méthodes proposées jusqu'à ce jour.

William Grosseteste
Ingénieur

Influence des orages sur les lignes télégraphiques souterraines;

par M. Blavier.

Lorsqu'on a commencé, il y a quelques années, la construction des grandes lignes souterraines qui relient actuellement les principales villes tant en France qu'en Allemagne, on pensait que leurs fils conducteurs seraient complètement à l'abri des orages. Ces conducteurs, enveloppés de gutta-percha et réunis en câble, sont, en effet, protégés par une armature en fils de fer ou par un tuyau continu en fonte, et l'on sait que des corps placés dans un milieu entouré d'une enveloppe métallique en communication avec la terre restent à l'état neutre, quel que soit l'état électrique à l'extérieur.

On a cependant constaté qu'il se produit quelquefois, par les temps d'orage, dans les bureaux desservis par des fils souterrains, des décharges électriques qui produisent des étincelles et fondent les fils fins des paratonnerres. Ces accidents sont beaucoup plus rares et ont moins de gravité que dans le cas où les fils sont aériens et ne paraissent pas de nature à troubler les transmissions; ils correspondent toujours à des orages qui éclatent dans la campagne, à une distance plus ou moins grande des villes où les fils télégraphiques souterrains sont protégés par le réseau des conduites d'eau ou de gaz au-dessous desquelles ils sont posés.

C'est ainsi, par exemple, que, pendant un violent orage qui a éclaté le 9 mars dernier au milieu de la ligne souterraine qui relie Belfort à Besançon, on a constaté des étincelles aux deux postes extrêmes, alors que dans les deux villes on soupçonnait à peine une perturbation atmosphérique.

Ce phénomène, contraire en apparence à la théorie de l'électricité statique, peut s'expliquer, semble-t-il, soit par un effet d'induction électrodynamique, soit par un effet d'induction électrostatique.

Si le câble télégraphique se trouve enterré à une faible profondeur, dans un terrain peu conducteur, ainsi que cela a souvent lieu sur les lignes, l'armature prend, sous l'influence des nuages orageux, et alors que le fil intérieur reste à l'état neutre, une

charge électrique plus ou moins considérable. Au moment où un éclair éclate, cette charge devient subitement libre, au moins en partie, et s'écoule dans le sol en suivant l'armature dans les deux directions opposées.

Il doit en premier lieu se développer dans le conducteur intérieur deux courants induits de sens contraires, dont la différence seule agit sur les appareils des postes extrêmes. Il semble toutefois que l'effet résultant doit être assez faible, d'autant plus que, le fluide libre se perdant rapidement dans le sol, l'induction ne peut être que très limitée.

Un second effet doit résulter de ce que, la décharge de l'armature n'étant pas instantanée, son potentiel électrique décroît brusquement pendant un instant, si court qu'il soit. Le fluide libre réagit sur le conducteur intérieur qui se charge subitement d'électricité contraire par les points en communication avec le sol, c'est-à-dire par l'intermédiaire des paratonnerres et appareils des postes extrêmes, en donnant lieu aux phénomènes signalés plus haut. La charge extérieure, en s'écoulant ensuite, produit dans le conducteur un mouvement électrique de sens opposé, qui suit le premier de très près et se confond avec lui en l'annulant dans la plupart des cas. Aussi n'est-ce qu'exceptionnellement que l'on constate l'influence des orages sur les lignes souterraines.

SÉANCE DU 20 NOVEMBRE 1885.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 17 juillet est lu et adopté.

M. le Président annonce à la Société les pertes regrettables qu'elle a faites pendant les vacances, par la mort de MM. Brion, ancien professeur au lycée Saint-Louis, Charles Desquesnes, Félix Fournier, Mangin, colonel du Génie, et Maréchal, professeur au lycée Condorcet.

M. le Secrétaire général signale dans la Correspondance :

1° L'envoi fait par M. le Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts du programme du Congrès des Sociétés savantes en 1886;

2° D'une Note de M. Delaurier intitulée : *Nouvelle théorie*, fondée sur l'expérience, de la cause de la production de l'électricité dans les piles hydro- et thermo-électriques.

M. Foussereau expose les recherches qu'il a faites en commun avec M. Bouty pour comparer les résultats fournis par la méthode des courants alternatifs et par la méthode électrométrique dans la mesure des résistances des liquides.

Conformément aux indications de M. F. Kohlrausch qui s'est spécialement servi de la première de ces méthodes, on recueillait dans un pont de Wheatstone les courants alternatifs développés par un petit électromoteur Marcel Deprez tournant avec une vitesse de cent tours par seconde. L'expérience consistait à combiner les résistances des quatre branches latérales du pont, de manière à réduire au silence un téléphone Ader placé dans la branche transversale.

Quand on constitue les quatre branches latérales avec des résistances métalliques d'une centaine d'ohms, empruntées à des caisses de résistance, on ne peut obtenir le silence. Le téléphone présente seulement un minimum de bruit qui ne correspond pas du reste à une compensation exacte entre les résistances des quatre branches du pont. Ce minimum devient en outre moins distinct à mesure qu'on fait croître les résistances des branches latérales. En même temps l'erreur sur la compensation va aussi en croissant, jusqu'à atteindre 20 pour 100 quand l'une des branches contient 100 000 ohms. Ces phénomènes ne peuvent être attribués qu'aux forces électromotrices de self-induction développées inégalement dans les boîtes de résistances par le passage des courants variables.

En remplaçant successivement trois des branches métalliques du pont par des résistances liquides comprises entre de grandes électrodes non polarisables, on voit les perturbations diminuer, mais non s'annuler. Il faut, pour les faire disparaître, substituer aussi à la quatrième branche métallique du pont un rhéostat à liquide dont la résistance puisse varier, au gré de l'opérateur, d'une manière continue. On a reconnu aussi que les électrodes de ce rhéostat doivent être impolarisables et présenter une grande surface. Le rhéostat employé par MM. Bouty et Foussereau se composait de deux vases de verre superposés, remplis d'une dissolution de sulfate de cuivre dans laquelle baignaient, de part et d'autre, deux grandes électrodes en cuivre. Les liquides des deux vases communiquaient par un long tube de verre ouvert aux deux bouts. On faisait varier la résistance de la colonne liquide contenue dans ce tube en y descendant un piston cylindrique en verre d'un diamètre peu inférieur à celui du tube. Un index fixé au piston se déplaçait sur une graduation, et l'on avait déterminé la résistance correspondant à chaque position de l'index.

La résistance liquide à mesurer était comprise entre deux électrodes de platine platiné, de 1^{dmq} de surface, immergées dans deux vases remplis du liquide à étudier. Un siphon en verre faisait communiquer les masses liquides des deux vases.

Deux des branches du pont étant formées de résistances liquides fixes, la troisième du rhéostat et la quatrième du liquide à étudier, il devient possible d'obtenir le silence du téléphone et de faire des mesures acceptables, au moins sur les liquides de résistance médiocre ou faible. La moyenne de ces mesures sur les mêmes corps présente un accord satisfaisant avec la moyenne des mesures électrométriques. Toutefois les écarts qu'elles présentent entre elles sont beaucoup plus grands que ceux des mesures électrométriques. La méthode des courants alternatifs est donc applicable aux liquides peu résistants, à la condition de prendre les précautions signalées par les auteurs. Mais si l'on fait croître la résistance des liquides observés, la détermination du point silencieux devient de plus en plus incertaine, et les mesures deviennent rapidement illusoires. Il paraît en être ainsi, en particulier, pour les dissolutions salines très étendues, et à plus forte raison pour l'eau distillée et les autres liquides très isolants.

M. Hillairet présente à la Société une machine à influence de Wimshurst construite par la maison Breguet. — Les machines appartenant au type imaginé par M. Wimshurst se composent essentiellement de deux plateaux de verre à faces parallèles,sur lesquels sont fixés des secteurs métalliques en étain ou en clinquant.

Une transmission permet de donner à ces deux plateaux des mouvements de rotation égaux et de sens contraires autour d'un axe commun.

Deux peignes métalliques isolés par des pieds de verre embrassent les deux plateaux aux extrémités d'un même diamètre horizontal.

Deux conducteurs diamétraux, inclinés à 45° sur le diamètre horizontal et correspondant respectivement à chaque plateau, sont armés à leurs extrémités de pinceaux de clinquant destinés à prendre légèrement le contact de pastilles de cuivre ou d'étain fixées sur les secteurs métalliques.

Si les secteurs et les pastilles sont d'un métal différent du clinquant des pinceaux, la machine est susceptible de s'amorcer rapidement elle-même; dans le cas contraire, la machine, une fois amorcée par l'influence d'un corps électrisé, entretient, sans le secours d'une source étrangère, le jeu des influences, sans désamorcement ni changement de polarité.

Les peignes sont terminés par des corps cylindriques qui constituent les pôles de la machine.

En admettant qu'il soit nécessaire de maintenir l'amorcement par une source étrangère, on constitue facilement un cycle continu d'influences qui expliquerait le fonctionnement de la machine. Dans ce cas, ce dispositif ne serait que la réalisation mécanique de celui qu'employa Péclet dans son électroscope à trois plateaux pour déceler les charges faibles d'électricité au moyen des feuilles d'or.

Mais ceci n'est pas entièrement conforme à ce qui se passe en réalité : on peut se convaincre par plusieurs expériences que les peignes contribuent à maintenir le fonctionnement de la machine auquel ils sont indispensables.

Si l'on réunit les deux peignes par un conducteur, ou si on les met à la terre, la machine se désamorce : inversement, on peut amorcer la machine

en électrisant les peignes par influence, au moyen d'une source étrangère.

Mais, dans ce dernier cas, la masse inductrice doit être plus considérable que dans le premier cas.

La machine présentée à la Société de Physique permet d'obtenir des étincelles de plus de 0^m, 20 entre les deux pôles, ceux-ci étant armés de condensateurs.

M. E. Mercadier expose une classification des divers modes de radiophonie actuellement connus.

Il indique d'abord les perfectionnements apportés au thermophone et au photophone à sélénium.

Il expose ensuite comment il est parvenu à trouver deux espèces nouvelles de radiophones. L'un s'obtient en exposant à des radiations intermittentes un microphone quelconque dont la surface est recouverte de noir de fumée; les sons obtenus alors dans un téléphone récepteur peuvent être appelés *thermo-électrophoniques*, puisque l'action des radiations thermiques produit en définitive des modifications dans le régime d'un courant électrique.

L'autre s'obtient en soumettant à la même expérience un téléphone quelconque à diaphragme enfumé : c'est alors un *thermo-magnétophone*.

En ajoutant à l'un de ces appareils une chambre à air fermée par une lame transparente, un tuyau acoustique aboutissant à cette chambre, un second tuyau communiquant avec l'air intérieur de l'instrument, on obtient simultanément trois effets : deux *thermiques* directs par les deux tuyaux et le troisième indirect dans un téléphone récepteur.

Les expériences ont été faites à la fin de la séance avec la lumière électrique.

Sur l'emploi des courants alternatifs pour la mesure des résistances liquides;

par MM. Bouty et Foussereau.

Deux méthodes ont été signalées comme fournissant des mesures exactes de la résistance des liquides : l'une, fondée sur l'emploi de l'électromètre et dont nous avons fait exclusivement usage dans nos recherches antérieures ([1]), est à l'abri de toute critique, puisqu'elle élimine absolument l'influence de la polarisation des

---

([1]) Bouty, *Sur la conductibilite des liquides et la polarisation des électrodes* (*Séances de la Société de Physique*, année 1882, p. 83). — *Sur la conductibilite des dissolutions salines très étendues* (*Annales de Chimie et de Physique*,

électrodes; l'autre consiste à affaiblir cette polarisation jusqu'à la rendre négligeable, en augmentant le plus possible la surface utile des électrodes et en ayant recours à des courants alternatifs de la plus courte durée possible. Cette méthode a été fréquemment appliquée à l'étranger, particulièrement par M. F. Kohlrausch, auquel on doit des mesures nombreuses et très estimées.

Désireux de nous rendre compte de la comparabilité des résultats obtenus par les deux méthodes et de leur précision relative, nous avons cherché à réaliser le mieux possible les conditions indiquées par M. Kohlrausch, en utilisant les ressources dont nous avons pu disposer. Nous nous sommes procuré deux électrodes en platine platiné de $0^{mq},01$ de surface chacune, et nous avons fait usage des courants alternatifs d'un petit moteur Marcel Deprez tournant avec une vitesse moyenne d'environ 100 tours par seconde (1). Ces courants traversaient un pont de Wheatstone, et l'on appréciait l'équilibre à l'aide d'un excellent téléphone Ader remplaçant le galvanomètre dans la branche transversale du pont.

Des expériences préliminaires nous avaient indiqué la nécessité d'un isolement parfait de l'électromoteur et de toutes les résistances; mais, malgré tout le soin apporté à cet isolement, nous ne pûmes arriver à réduire le téléphone au silence dans les conditions ordinaires des mesures. Nous avons alors cherché séparément quelle était l'influence de l'induction des résistances métalliques, celle de la dimension des électrodes, et nous sommes enfin arrivés à obtenir le silence absolu du téléphone, en excluant du pont toute résistance métallique et à l'aide d'un nouveau rhéostat à liquide que nous décrirons un peu plus loin. Mais il convient d'insister d'abord sur la série des observations qui nous ont amenés à ce résultat.

Première expérience. — Les quatre branches du pont sont

6e série, t. III, p. 433, et *Journal de Physique*, 2e série, t. III, p. 325). — Foussereau, *Recherches sur la conductibilité des substances isolantes* (*Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. V, p. 241 et 317, et *Séances de la Société de Physique*, année 1884, p. 212).

(1) Ce moteur, construit par M. Carpentier, présente une bobine mobile d'environ $0^m,15$ de long et $0^m,03$ de diamètre, tournant entre les branches d'un aimant en fer à cheval de trois lames de $0^m,01$ d'épaisseur chacune.

formées exclusivement par des résistances métalliques empruntées à des caisses étalonnées. Nous avons employé : 1° une caisse à pont de la maison Elliott de Londres, fournissant trois résistances de 10000 ohms; 2° quatre caisses de 1 à 10000 ohms et deux caisses de 10000 à 100000 ohms, de la maison Breguet. Nous nous sommes assurés que les mesures électrométriques effectuées à l'aide de ces diverses boîtes étaient exactes avec une erreur relative toujours inférieure à $\frac{1}{200}$.

Quand les quatre résistances sont faibles, on peut, par un réglage convenable, produire un minimum de bruit du téléphone qui est loin d'être une extinction, mais que l'on perçoit cependant avec beaucoup de netteté. A mesure que la résistance augmente, le minimum de bruit devient de moins en moins perceptible, et en même temps ce bruit minimum devient plus fort, au moins tant que la résistance ne prend pas une valeur exorbitante. Mais ce qu'il importe surtout de constater, c'est que *le pont, réglé pour le minimum de bruit, se trouve absolument déréglé quant à la valeur des résistances qu'il contient,* et d'autant plus que les résistances sont plus fortes. Ainsi deux branches A et B du pont étant égales à 10000 ohms, et la troisième branche C à 10000 ohms, le minimum de bruit a été trouvé, pour D, 9300 ohms au lieu de 10000; l'erreur que l'on commettrait dans la *mesure* de cette résistance D supposée inconnue serait de 7 pour 100; pour C = 100000 ohms, on a trouvé D = 80000 ohms : l'erreur atteindrait 20 pour 100.

Ces expériences ne peuvent s'interpréter qu'en admettant que les bobines des boîtes de résistance, telles qu'elles sont livrées au commerce par les meilleurs constructeurs, ne sont pas dénuées d'induction. Le coefficient de self-induction de chaque bobine varie au hasard, et puisqu'il n'y a pas de relation entre ce coefficient et la résistance propre, on conçoit aisément que l'équilibre du pont, avec les courants alternatifs, ne soit rigoureusement réalisé pour aucune combinaison de bobines prises sur les boîtes.

En remplaçant successivement une, deux ou trois branches métalliques du pont par des résistances liquides dénuées de polarisation, on améliore beaucoup l'expérience sous le rapport de la netteté, mais on ne réussit pas à produire une véritable extinc-

tion. L'effet de l'induction dans les bobines subsiste toujours, et les mesures de résistance continuent, par conséquent, à être illusoires. Elles le seront même d'autant plus que les inversions de courant seront plus rapides, sans que la concordance des résultats obtenus dans une série de mesures, faites avec le même appareil, puisse être invoquée comme une garantie de leur exactitude. Il y a là une cause d'erreurs systématique très grave dont ne paraissent pas s'être préoccupés suffisamment les physiciens qui ont fait usage de la méthode des courants alternatifs.

Seconde expérience. — Pour constituer des résistances liquides fixes, dénuées de polarisation, nous employons deux vases de grande capacité, par exemple deux bocaux de pile contenant chacun un zinc amalgamé de pile plongeant dans une solution concentrée de sulfate de zinc. Les deux vases communiquent par des siphons de verre dont on règle le nombre et le diamètre de manière à assigner approximativement à la résistance du système telle valeur que l'on désire.

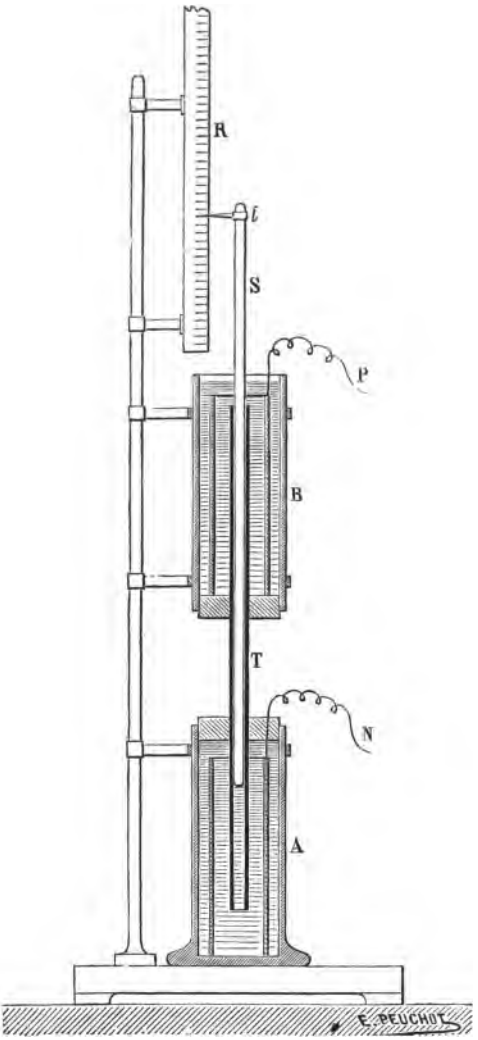
Nous avons disposé un pont avec trois résistances de cette espèce et une sorte de rhéostat à liquide, formé d'un flacon bitubulé rempli de sulfate de cuivre; un fil de cuivre pénètre par l'une des tubulures et constitue l'une des électrodes; un tube capillaire vertical pénètre par la tubulure centrale presque jusqu'au fond du flacon et reçoit la seconde électrode. C'est encore un fil de cuivre qu'on relève ou qu'on abaisse à volonté, de manière à limiter la portion du tube qui contient la résistance liquide variable.

Dans ces conditions il a encore été impossible d'obtenir une bonne extinction. La polarisation des petites électrodes de cuivre du rhéostat joue ici le même rôle que l'induction dans les caisses de résistance et s'oppose à la réalisation de l'équilibre. Il est donc indispensable de donner au rhéostat à liquide des électrodes à grande surface.

Rhéostat à liquide. — Notre rhéostat (*fig.* 1) se compose de deux vases A et B superposés contenant chacun une électrode cylindrique de cuivre de plusieurs décimètres carrés de surface. Ces vases communiquent par un tube de verre vertical T ouvert

aux deux bouts et dans lequel s'engage une tige de verre pleine S

Fig. 1.



de section presque égale. Les deux vases sont pleins de sulfate de cuivre, et, en enfonçant plus ou moins profondément la tige dans

le tube, on fait varier à volonté la résistance. Un index *i* fixé à la tige se déplace le long d'une règle graduée et permet de faire des lectures. On mesure à l'électromètre l'accroissement de résistance correspondant à chaque division de la règle, de manière à pouvoir dresser la table de l'instrument.

Quand on voudra faire des mesures absolues, on devra déterminer avec soin la température du liquide, car sa résistance varie pour chaque degré centigrade de la $\frac{1}{30}$ partie de sa valeur à 0°. Pour des mesures relatives effectuées rapidement, on pourra se dispenser de toute correction.

L'un de nos rhéostats, celui dont nous avons fait le plus fréquent usage, avait une résistance comprise entre 1200 et 5000 ohms : il permettait donc de comparer deux résistances dont le rapport ne dépassait pas 4. En faisant varier, à l'aide de siphons supplémentaires, le rapport des résistances fixes du pont dans le rapport de 1 à 50, la plus faible des deux résistances à comparer pouvait varier de 24 ohms à 62000 ohms; nous n'avons pas eu l'occasion de dépasser ces limites.

Mesures. — La résistance à mesurer était formée par deux vases contenant chacun une électrode en platine platiné de $0^{mq},01$ de surface et communiquant par un siphon étroit rempli du même liquide que les vases. Cette résistance formait la quatrième branche d'un pont de Wheatstone, dont les deux branches fixes étaient des résistances liquides dénuées de polarisation, et la troisième branche, le rhéostat à liquide. Nous avons opéré sur le chlorure de potassium, le chlorure de magnésium et l'acide sulfurique à divers états de dilution.

Dans tous les cas, nous avons eu la satisfaction d'obtenir l'*extinction absolue de tout bruit dans le téléphone.* Avec des dissolutions peu résistantes, l'extinction est saisie avec beaucoup de précision, mais pour des liqueurs plus étendues, l'extinction, en apparence parfaite, persiste sur une portion notable de l'échelle du rhéostat et l'erreur relative des mesures devient assez considérable. *Cette erreur est toujours beaucoup plus grande que celle des mesures électrométriques effectuées sur les mêmes liquides et dans les mêmes conditions.* A titre d'exemple, nous indiquerons

les résultats fournis par une dissolution de chlorure de magnésium [1] au $\frac{1}{1000}$, comparée à une dissolution de chlorure de potassium de même concentration.

	Courants alternatifs.	Électromètre.
$\frac{MgCl}{KCl} =$	1,609	1,546
	1,563	1,541
Moyenne....	1,586	1,5435

Deux mesures répétées dans des conditions aussi identiques que possible, avec les courants alternatifs, présentent l'une par rapport à l'autre une différence de $\frac{1}{40}$, tandis que les mesures faites à l'électromètre ne diffèrent entre elles que de $\frac{1}{300}$. Pour des liqueurs excessivement étendues, les mesures faites par la première méthode deviendraient complètement illusoires.

En ce qui concerne l'exactitude même de la méthode des courants alternatifs, il résulte de nos expériences, faites comparativement sur les mêmes liquides, à la même température, que la moyenne des mesures de cette espèce ne diffère pas en général de la moyenne des mesures électrométriques plus que les mesures individuelles au téléphone ne diffèrent entre elles. La méthode des courants alternatifs fournira donc de bons résultats pour les liqueurs concentrées ou moyennement étendues, mais à la condition expresse d'employer de très grandes électrodes en platine platiné, comme l'a recommandé M. Kohlrausch, et surtout de *n'introduire dans les quatre branches du pont aucune résistance métallique non rectiligne*. Même avec ces précautions, il ne semble cependant pas qu'elle puisse donner des résultats concordants, si l'on essaye de l'appliquer à des dissolutions excessivement étendues.

Machine à influence du type de M. Wimshurst;

par M. Hillairet.

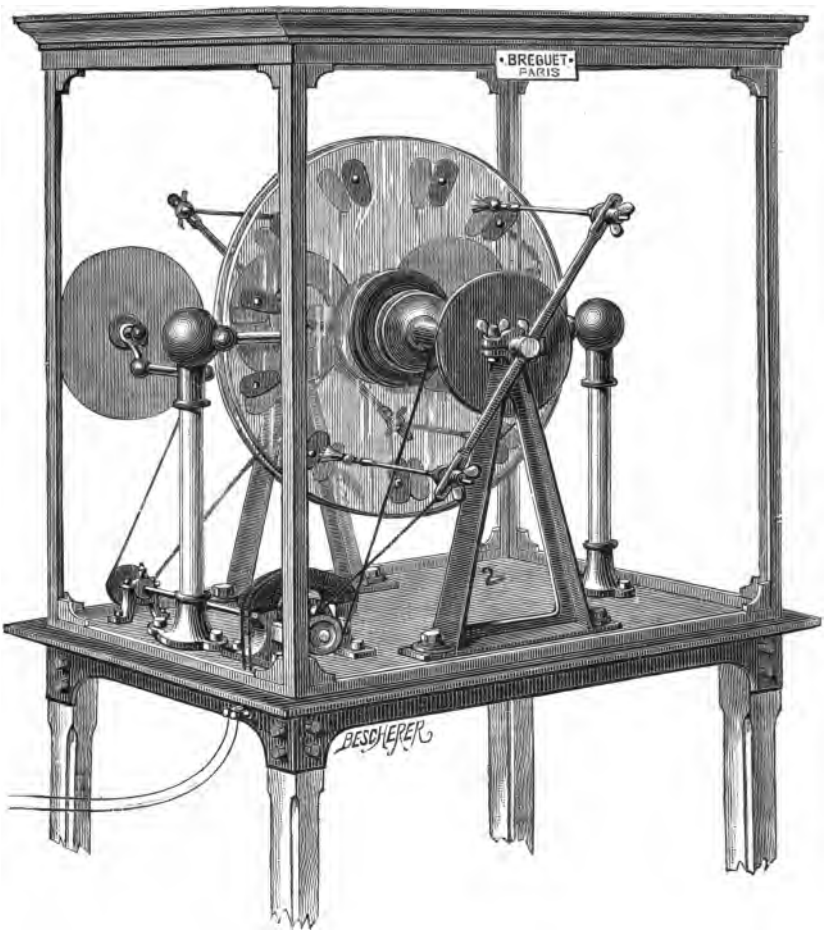
Cette machine se compose de deux disques de verre, de 700^{mm} de diamètre, qui peuvent être animés d'un mouvement de rota-

---

[1] $\frac{1}{1000}$ de $MgCl + 6HO$.

tion autour d'un axe commun perpendiculaire aux faces (*fig.* 1). Ces deux disques se meuvent en sens inverse l'un de l'autre.

Fig. 1.



Deux peignes horizontaux, supportés par des pieds en verre, embrassent respectivement les deux disques.

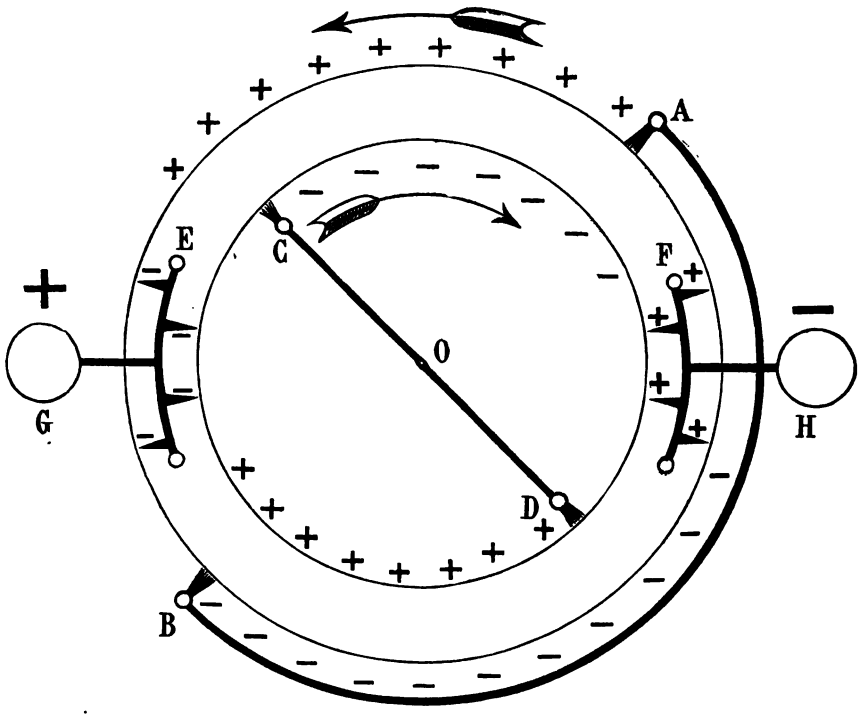
Ceux-ci portent chacun douze secteurs, formés de feuilles métalliques : ces secteurs portent, à leur centre de figure, une pastille métallique, destinée à prendre le contact de pinceaux de clinquant, portés par deux conducteurs diamétraux.

L'un de ces conducteurs est en relation avec l'un des disques: l'autre disque est armé du second conducteur.

Ces conducteurs sont fixes dans l'espace et inclinés à 45° environ sur la ligne des peignes.

Nous verrons, dans la suite, que le mouvement des disques doit être d'un sens tel, que les secteurs se dirigent toujours du peigne vers le pinceau le plus voisin.

Fig. 2.



Les conducteurs, ou prises de contact de la machine, sont reliés aux peignes et traversent la vitre de la cage, au moyen d'un cylindre de cuivre armé de boules, isolé par de l'ébonite. La vitre a été vernissée à la laque autour de la prise de contact, dans un rayon de 200^{mm}, déterminé par la distance explosible maxima que l'on voulait obtenir.

Les disques sont actionnés par un moteur dynamo-électrique de la puissance de 7^{kgm}, et dont le poids est de 7^{kg} (cette ma-

chine étant destinée à compléter une installation de semblables machines disposées dans un local où elles font partie d'une distribution électrique).

Il n'est pas facile d'expliquer, d'une manière rigoureusement satisfaisante, le jeu des influences auxquelles donne lieu cette machine.

Toutefois, en adoptant le mode de représentation cylindrique, imaginé par M. Bertin pour montrer le fonctionnement de la machine de Holtz, on peut constituer un cycle qui suffit à montrer la production continue des phénomènes d'influence.

Supposons que les deux plateaux soient représentés par deux cylindres concentriques, sur la surface desquels sont disposées des bandelettes métalliques, correspondant aux secteurs.

Ces cylindres sont animés d'un mouvement de rotation autour de l'axe projeté en O (*fig.* 2) et dans le sens des flèches.

Les deux conducteurs diamétraux sont représentés par AB, CD, et les deux peignes, par EG, FH.

Si l'on approche une source d'électricité de A, une décomposition par influence s'opère, et les bandelettes du cylindre extérieur se chargent au contact du pinceau.

Ces bandelettes chargées arrivent en face du pinceau C; elles provoquent alors une décomposition par influence dans le conducteur CD, supposé isolé; les bandelettes du cylindre intérieur se chargent et sont transportées devant A, où elles provoquent une décomposition par influence.

Les bandelettes du cylindre extérieur, après avoir dépassé le pinceau C, se trouvent successivement en présence du peigne EG, destiné à les neutraliser. La boule G se charge à mesure que les bandelettes sont neutralisées.

La décomposition par influence, opérée sur CD, a eu pour effet de charger l'extrémité D de ce conducteur et, par suite, les bandelettes qui viennent à son contact.

Les bandelettes ainsi chargées viennent influencer l'extrémité B du conducteur diamétral AB, dont le pinceau charge les bandelettes correspondantes du cylindre extérieur.

La neutralisation de ces charges s'effectue par le peigne FH, dont la boule se trouve alors chargée d'une électricité de nom contraire à celle qui charge G.

On remarquera que les peignes servent à neutraliser deux séries de bandelettes appartenant respectivement aux deux cylindres et dont les actions sont concomitantes.

Les boules G et H sont donc les pôles de la machine.

Si l'on suppose la machine amorcée artificiellement, on voit que l'accroissement des charges se fait par le jeu des influences dans les quadrants COA, BOD.

La machine ayant été amorcée par l'approche d'un bâton d'ébonite électrisé dans le voisinage de A, le fonctionnement continue après qu'on l'en a éloigné ; la machine s'entretient elle-même.

Nous avons vérifié que l'entretien du fonctionnement était dû aux peignes, dont les corps cylindriques sont électrisés.

En effet :

1° Tout fonctionnement cesse lorsqu'on met les deux peignes à la terre, ou qu'on les réunit par un corps métallique ;

2° La machine s'amorce lorsqu'on approche le corps électrisé du corps cylindrique des peignes (1).

Si l'on fait les secteurs et les pastilles métalliques en étain, la machine devient susceptible de s'amorcer elle-même et de fonctionner au bout de quelques tours (électricité de contact développée par le clinquant du pinceau et l'étain).

La machine étant amorcée, la charge des secteurs croît rapidement pour atteindre une certaine limite imposée par le potentiel le plus élevé compatible avec la forme des conducteurs et la nature du milieu, d'une part, et de l'autre par la diminution théorique de l'accroissement à mesure que le nombre des opérations augmente.

En effet, représentons, comme l'indique la *fig.* 3, le diagramme des éléments actifs de la machine, en supposant que les cercles qui représentent les secteurs aient des mouvements de translation indiqués par les flèches horizontales ; les flèches verticales indiquent la communication à la terre.

---

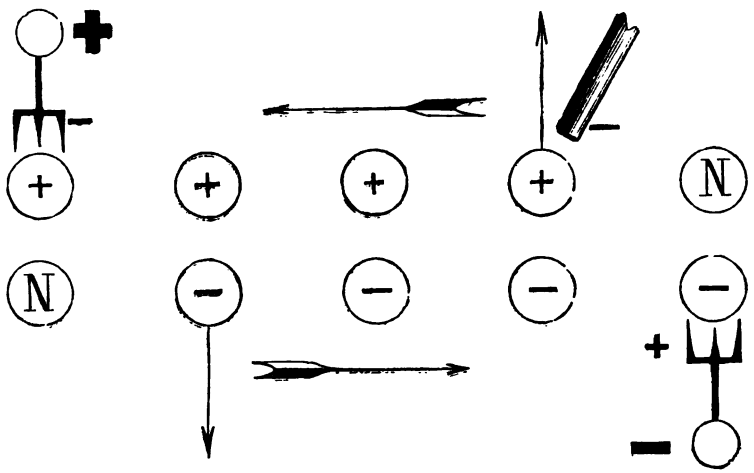
(1) Mais l'amorçage doit être plus énergique que dans le cas précédent. On réussit en employant comme source excitatrice une petite machine à frottement ou à influence.

On approche le bouton électrisé du conducteur à la terre : soit $-m$ la masse électrique qui agit par influence sur le conducteur.

$-m$ induira une masse $+\alpha m (\alpha < 1)$. Cette masse αm sera transportée par le secteur en contact avec le pinceau au moment de l'influence. La masse αm arrivera devant le second conducteur à la terre et induira, sur le secteur en contact avec le second pinceau au moment considéré, une masse

$$-\beta(\alpha m) = -\alpha\beta m \qquad (\beta < 1).$$

Fig. 3.



Les deux opérations précédentes constitueront le premier cycle. Le second cycle commence par l'induction, sur le secteur en contact avec le premier pinceau, d'une masse électrique

$$\left\{ \begin{array}{l} +\alpha m \\ +\beta(\alpha\beta m) \end{array} \right\} = +\alpha m(1+\beta^2);$$

à la fin du troisième cycle, nous aurons une masse

$$+\alpha m(1+\beta^2+\beta^4);$$

à la fin du quatrième cycle,

$$+\alpha m(1+\beta^2+\beta^4+\beta^6),$$

et à la fin du $n^{\text{ième}}$ cycle

$$+ \alpha m (1 + \beta^2 + \beta^4 + \ldots + \beta^{2(n-1)}).$$

On voit que, lorsqu'on maintient l'amorçage, l'un des facteurs qui exprime la charge est constant, tandis que l'autre constitue une série rapidement convergente; donc il y a, théoriquement, une limite à la charge.

Supposons qu'on ne maintienne pas l'amorçage et que, un secteur ayant été chargé de la masse $+ \alpha m$, on éloigne le bâton électrisé, la masse $+ \alpha m$ induira devant le second pinceau une masse $- \alpha\beta m$, la masse $- \alpha\beta m$ induira devant le premier pinceau une masse $+ \alpha\beta^2 m$, laquelle induira à son tour devant le second la masse $- \alpha\beta^3 m$. A la fin du $n^{\text{ième}}$ cycle, on aura induit devant le second pinceau la masse $- \alpha\beta^{(2n-1)} m$.

La charge décroît donc en progression géométrique lorsque les opérations croissent en progression arithmétique, et le désamorcement est rapidement atteint.

Ce point est facile à vérifier en mettant les peignes à la terre.

On voit donc que les peignes doivent contribuer à maintenir le fonctionnement de la machine lorsque cesse l'amorçage artificiel, puisque celle-ci a la propriété de s'entretenir elle-même.

On peut remarquer, surtout à l'inspection du dernier diagramme, que la machine de Wimshurst, ainsi que nous en avons représenté le fonctionnement simple (1), ne serait autre que la réalisation mécanique du dispositif imaginé par Péclet pour accroître, par une série d'opérations, la charge d'un électroscope, en conservant à cette charge toujours le même signe. Comme dans la machine de Wimshurst, la charge s'accroît par *sommation* dans l'électroscope à trois plateaux de Péclet, et non par *multiplication* comme dans les machines à influence, ayant pour principe celui des multiplicateurs de Bennett et de Nicholson.

La machine de Wimshurst offre assez d'avantages pour que, dans les applications industrielles, elle soit employée de préférence à toute autre machine.

---

(1) Il est entendu que nous avons, dans les calculs précédents, supposé que les peignes avaient une fonction purement passive; ce qui, comme nous l'avons fait observer, n'est pas entièrement conforme à la réalité.

Plusieurs essais ont été faits avec ces machines pour la condensation des fumées de plomb des foyers d'affinage dans les carneaux de dépôt et ont donné, paraît-il, des résultats assez satisfaisants pour qu'on ait songé à entreprendre, dans ce but, la construction de machines spéciales.

La machine décrite est destinée à l'électrothérapie, application pour laquelle elle offre, entre autres avantages, celui d'avoir deux pôles parfaitement définis par des charges de même signe, tandis que les machines généralement admises pour cet usage ont de fréquents renversements de polarités.

Nous avons cru devoir attirer l'attention sur cette machine dont la théorie, malgré ses lacunes, présente un grand intérêt et qui, destinée à un fonctionnement continu de plusieurs heures par jour, devait être construite d'une manière tout autre que les machines similaires qu'on rencontre généralement dans les laboratoires.

Le dispositif a été étudié et exécuté dans les ateliers de la maison Breguet.

Sur deux espèces nouvelles de radiophones;

par M. Mercadier.

On peut diviser les radiophones connus en deux classes :

1° Ceux dans lesquels la transformation d'énergie radiante en énergie mécanique, sous forme sonore, s'effectue *directement.* Ils se divisent eux-mêmes en trois genres : les *thermophones,* où les radiations thermiques sont principalement en jeu : tels sont la plupart des gaz et des vapeurs enfermés dans une enveloppe transparente; en second lieu, les *photophones,* comme la vapeur d'iode et le peroxyde d'azote, dont les vibrations sont surtout excitées par les radiations lumineuses : enfin, les *actinophones,* qui seraient excités par les radiations actiniques ultra-violettes, mais dont on ne connaît encore aucun exemple.

2° Les radiophones qu'on peut appeler *indirects,* dans lesquels la transformation finale d'énergie radiante en énergie sonore exige

une ou plusieurs transformations intermédiaires. On n'en connaissait qu'un seul genre, appelé *photophone* par M. G. Bell, dans lequel des radiations intermittentes agissent sur une couche de sélénium, d'alliages de sélénium et tellure ou de noir de fumée, placée dans un circuit renfermant une pile et un téléphone. En ce cas, on sait que ce sont les radiations *lumineuses* qui agissent principalement, produisant dans le circuit des variations d'énergie électrique, d'où résultent des sons dans le téléphone récepteur.

Ces appareils constituent donc en réalité des radiophones indirects photo-électriques ou des *photo-électrophones*.

J'ai réalisé deux espèces nouvelles de radiophones indirects du genre thermique, c'est-à-dire provenant des transformations d'une énergie radiante thermique initiale.

Premièrement, j'ai constaté qu'un microphone est sensible à l'action de radiations intermittentes. Il suffit de prendre un instrument de ce genre, où les supports des charbons sont fixés à une lame ou diaphragme mince de sapin verni, et reliés à un téléphone récepteur avec ou sans bobine d'induction dans le circuit de la pile.

En exposant le diaphragme à l'action de radiations intenses, rendues intermittentes, par exemple, à l'aide d'une roue percée d'ouvertures, semblable à celle que j'ai décrite (année 1880, p. 184), on entend dans le téléphone des sons dont la hauteur varie d'une manière continue avec la vitesse de la roue, le nombre des vibrations correspondant étant égal à celui des intermittences.

En second lieu, un téléphone transmetteur quelconque est également sensible à la même action produite sur le diaphragme en fer : on entend dans un récepteur des sons analogues aux précédents.

Dans les deux cas, le diaphragme en sapin ou en fer non poli doit nécessairement vibrer en absorbant superficiellement les radiations *thermiques*, et constituant ce que j'ai appelé un *thermophone*, ainsi que je l'ai montré il y a cinq ans (voir année 1880, *loc. cit.*). Mais, en outre, il résulte de ses vibrations une seconde transformation d'énergie. Dans le cas du microphone il se produit en effet des variations dans l'énergie électrique du circuit : les sons entendus dans le téléphone récepteur peuvent donc

être qualifiés de thermo-électrophoniques, et l'appareil lui-même est un *thermo-électrophone* (¹). Dans le cas de téléphonie, c'est l'énergie magnétique du champ de l'aimant qui varie : les sons du récepteur peuvent donc être appelés *thermo-magnétophoniques*, et l'appareil ainsi employé constitue un *thermo-magnétophone* (¹).

L'intensité des effets ainsi produits, toutes choses égales d'ailleurs, peut être augmentée de plusieurs manières :

1° En enfumant la surface des diaphragmes en bois ou en fer, moyen de renforcement que j'ai déjà indiqué pour tous les effets thermophoniques directs;

2° En multipliant en quelque sorte l'effet de la surface absorbante enfumée par celle d'une couche d'air, mise ainsi en vibration dans une cavité fermée par une lame de verre ou de mica, et disposée en avant du diaphragme;

3° En augmentant l'intensité de la source radiante. Faibles avec la lumière oxyhydrique, les effets sont assez intenses avec la lumière électrique et plus encore avec la lumière solaire (²).

On peut, dans un appareil simple, condenser, pour ainsi dire, deux effets thermophoniques directs, et l'effet indirect thermo-magnétophonique. On prend un téléphone quelconque à diaphragme enfumé : on le recouvre d'un cylindre formant une chambre à air fermée par une lame de verre et percée, en avant du diaphragme, d'une ouverture latérale à laquelle on adapte un tuyau acoustique; un second tuyau est fixé à une ouverture pratiquée dans la monture du téléphone, en arrière du diaphragme; enfin on relie les bouts de l'hélice à un téléphone récepteur. En approchant de l'oreille les deux tuyaux et le récepteur, on entend, par le premier tube, les sons thermophoniques de l'air en avant du

---

(¹) Il va sans dire que dans ces dénominations on ne tient pas compte des transformations d'énergie qui se produisent comme d'habitude dans le récepteur téléphonique; car il n'est considéré et employé ici que comme un moyen de mettre en évidence des mouvements vibratoires infiniment petits.

(²) Je pense qu'il sera possible, avec une radiation solaire intense, de reproduire avec ces appareils la parole articulée, en employant la méthode qui m'a déjà réussi pour les thermophones à air et noir de fumée (voir *Séances de la Société de Physique*, année 1881, p. 122); mais je suis forcé d'attendre pour cela un temps favorable.

diaphragme; par le second tube, les sons thermophoniques de l'air intérieur de l'instrument; par le récepteur, les sons thermo-magnétophoniques. Comme cela doit être, on observe que ces derniers, résultant de plusieurs transformations d'énergie, sont moins intenses que les deux autres.

SÉANCE DU 4 DÉCEMBRE 1885.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 novembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Barraud, à Paris.
Bedorez, Directeur des études à l'École Monge.
Defforges, Capitaine du Génie, à Paris.
Demichel (A.), Constructeur d'instruments pour les Sciences, à Paris.
Lesage, Professeur au Lycée de Châteauroux.
Rousselet, Professeur au Lycée Charlemagne.

M. le Président fait part à la Société de la perte qu'elle vient de faire en la personne de M. Andrews, F.R.S., professeur à Queen's College, Belfast, Irlande.

M. Foussereau expose ses recherches sur la résistance électrique de l'alcool. Les mesures ont été faites par la méthode électrométrique de M. Lippmann, et avec la disposition expérimentale déjà employée par l'auteur pour l'eau distillée et diverses autres substances.

La résistance spécifique de l'alcool absolu du commerce a donné à la température de 15° des résultats compris entre $2^{\text{még}},47$ et $3^{\text{még}},68$. L'écart notable qui existe entre ces nombres ne peut être attribué aux erreurs d'expérience. Il prouve que la pureté de l'alcool est troublée par les matières étrangères.

Pour en reconnaître la nature, on a d'abord ajouté à l'alcool des quantités croissantes d'eau distillée. La résistance de ces mélanges est restée presque constamment comprise entre celle de l'alcool et celle de l'eau, qui diffèrent dans le rapport de 10 à 1 environ. On observe seulement un minimum de résistance peu marqué pour un mélange contenant 3 pour 100 d'alcool. Il faut toujours faire varier d'une quantité notable la proportion d'eau pour changer notablement la résistance du mélange. Il est donc peu probable que la trace d'eau retenue par l'alcool absolu puisse expliquer les divergences signalées.

Mais l'eau peut agir indirectement en favorisant la dissolution par l'alcool des matières acides, basiques ou salines. Pour étudier cette cause d'altération, l'auteur a ajouté à des poids connus d'alcool des poids déterminés et de plus en plus faibles de dissolutions de ces substances. Il a reconnu ainsi que l'addition à l'alcool d'une proportion de potasse très inférieure à un millionième rend la résistance près de quatre fois plus petite. Les autres substances acides, basiques ou salines, fournissent des résultats analogues. La mesure de la résistance est donc très propre à déceler la présence de ces corps, et particulièrement des sels empruntés au verre. M. Foussereau a en effet constaté par diverses expériences que la résistance de l'alcool diminue rapidement dans le verre par la dissolution des sels de soude. Cette diminution est d'autant plus rapide que la température est plus élevée. Il convient donc de rejeter l'emploi des vases de verre pour conserver l'alcool absolu. L'auteur a reconnu que les échantillons d'alcool recueillis et conservés dans des vases de porcelaine présentent des résistances notablement plus élevées que les chiffres indiqués plus haut.

Les diverses substances qui peuvent altérer ordinairement la pureté de l'alcool ayant pour effet de diminuer sa résistance, il est vraisemblable que l'alcool le plus résistant sera en général le plus pur. En appliquant ce procédé de contrôle à des échantillons d'alcool préparés par de nombreuses distillations sur la chaux et la baryte anhydres, dans le but de construire des alcoomètres étalons, l'auteur a observé que la résistance de l'alcool ainsi préparé atteint jusqu'à $7^{\text{még}},031$ à 15°. Il est donc probable que cet alcool est le plus pur qu'on sache actuellement obtenir.

M. Foussereau a été conduit dans le cours de ses recherches à étudier l'influence de la température sur la résistance de l'alcool. Il a reconnu que cette résistance augmente pour un abaissement de température de 1° d'une quantité égale à 0,013 à 0,016 de sa valeur, la plus grande variation correspondant aux températures les plus basses. Les divers échantillons d'alcool absolu fournissent à ce point de vue des résultats très concordants, bien que les valeurs absolues de leurs résistances soient très inégales.

M. Lippmann expose les modifications qu'il a fait subir à la méthode des larges gouttes, employée pour mesurer la constante capillaire du mercure. Afin de rendre visible le plan qui contient les éléments verticaux de la surface, on place un point lumineux à distance dans ce plan. Le bord de la goutte, fonctionnant alors comme un miroir convexe de petit rayon, fournit une image virtuelle linéaire très fine du point lumineux : le plan en question se trouve ainsi dessiné par un trait de feu.

Afin de viser la surface supérieure de la goutte, M. Lippmann pose un fil de verre fin sur cette surface; il évite ainsi les illusions d'optique dues à la réflexion, et qui abaissent souvent le contour apparent de la goutte.

M. Cornu expose brièvement comment il a été amené à distinguer parmi les raies d'un même spectre certains groupes *spontanément renversables*.

La double raie de la soude qui coïncide avec D du spectre solaire en est

un type. On obtient le renversement spontané de cette raie en accroissant la masse et la température de la vapeur du sodium ou du composé sodique porté à l'incandescence. La plupart des métaux offrent des raies de cette espèce, dans le spectre visible et dans le spectre ultra-violet : parmi les plus intenses comme renversement, on peut citer certaines raies ultra-violettes du zinc et du cadmium vaporisés dans l'arc électrique. M. Cornu, avec le concours de M. J. Duboscq, projette sous les yeux de la Société des clichés photographiques de ces spectres obtenus avec un spectroscope achromatique pour les radiations ultra-violettes.

L'étude de la répartition des raies spontanément renversables dans les spectres des métaux très divers a conduit à une analyse très curieuse que résume l'énoncé suivant :

Dans les spectres métalliques, certaines séries de raies spontanément renversables présentent les mêmes lois de répartition et d'intensité que les raies de l'hydrogène.

Comme confirmation, on projette devant la Société les clichés des spectres des raies renversées du thallium et de l'aluminium, ainsi que ceux du spectre des raies brillantes de l'hydrogène (observées avec renversement dans la lumière des étoiles blanches par M. Huggins).

M. Cornu indique rapidement la série des opérations à l'aide desquelles il est parvenu à obtenir le spectre de l'hydrogène ; il a construit, en employant une trompe Alvergniat, une série de tubes de Geissler avec électrodes d'aluminium et de tubes à gaines de M. Salet : pour éliminer les impuretés du gaz, il a opéré en remplissant l'appareil alternativement avec de l'oxygène et avec de l'hydrogène : l'oxygène ozonisé par l'effluve électrique servait à laver en quelque sorte tout l'appareil, à brûler les composés hydrocarbonés très difficiles à faire disparaître. Une série de clichés des spectres de la lumière de ces tubes ont montré les phases de la purification de l'hydrogène. Finalement il n'est plus resté que des traces de matières étrangères et la série des raies *stellaires* de l'hydrogène apparaissent dans toute leur pureté.

Sur la résistance électrique de l'alcool;

par M. G. Foussereau.

J'ai cherché à établir dans un travail antérieur (1) que la conductibilité électrique de l'eau distillée s'accroît dans des pro-

(1) Voir *Séances de la Société de Physique,* année 1884, p. 231.

portions énormes quand on y ajoute quelques dix-millionièmes de son poids de substances acides, basiques ou salines. Il faut attribuer à cette cause l'altération très rapide que subit la conductibilité de l'eau dans les vases dont elle peut dissoudre les parois, particulièrement dans les vases de verre. La mesure de la résistance électrique constitue ainsi un contrôle d'une extrême délicatesse pour reconnaître si la pureté de l'eau est ou non troublée par le vase qui la renferme.

Il y avait lieu d'examiner si la même épreuve est applicable aux autres liquides les plus usuels, et si elle peut conduire à adopter de préférence certains récipients pour conserver ces liquides. J'ai entrepris cette étude pour l'alcool ordinaire, et je me propose de l'étendre à quelques autres corps.

Les résistances totales que j'ai eu à mesurer dépassant parfois 100 mégohms, je ne pouvais utilement les comparer aux étalons métalliques, beaucoup plus faibles, qu'on trouve dans le commerce. J'ai employé comme terme de comparaison la résistance d'un trait de crayon tracé sur une plaque d'ébonite, qui m'avait servi déjà dans mes expériences précédentes. Les mesures ont été effectuées par la méthode de M. Lippmann et avec les dispositions expérimentales décrites au § II, p. 217 du Mémoire cité plus haut.

Alcool absolu. — J'ai d'abord étudié plusieurs échantillons d'alcool absolu du commerce. Les résultats obtenus pour les résistances spécifiques à 15° ont été les suivants :

még.	még.
2,47	3,10
2,54	3,24
2,91	3,68 (1)

Les écarts entre ces nombres sont trop grands pour être attribués aux erreurs d'observation. Les conditions de préparation et de conservation de l'alcool influent donc notablement sur sa résis-

(1) M. Kohlrausch (*Pogg. Ann.*, Ergänzungsbd. VIII, p. 1) a obtenu pour la résistance de l'alcool absolu des nombres compris entre $0^{még},47$ et $3^{még},14$, après une série de distillations dans des vases de verre. Ces mesures ont été faites par la méthode des courants alternatifs, qui est très incertaine pour la détermination des grandes résistances.

tance électrique. Il convient d'examiner dans quelle mesure l'addition d'eau ou de matières salines modifie cette résistance.

Addition d'eau à l'alcool. — J'ai ajouté à des échantillons d'un même alcool des poids croissants d'une eau distillée environ dix fois plus conductrice que l'alcool observé. Les résistances de ces mélanges sont consignées dans le Tableau suivant (¹) :

Richesses en alcool.	Résistances.	Richesses en alcool.	Résistances.
1	9,71	0,390.....	2,59
0,991.....	9,14	0,254.....	1,79
0,980.....	8,53	0,178.....	1,42
0,915.....	7,26	0,069.....	0,97
0,822.....	6,22	0,030.....	0,895
0,621.....	4,28	0,012.....	0,92
0,528.....	3,52	0.....	1,01

On voit que la résistance va d'abord en décroissant à partir de l'alcool absolu, atteint un minimum peu différent de la résistance de l'eau, quand il n'y a plus que $\frac{3}{100}$ d'alcool, puis croît ensuite jusqu'à la résistance de l'eau. Mais il faut toujours une altération notable de la composition pour produire un changement notable de la résistance électrique. Il est donc difficile d'attribuer à la petite quantité d'eau retenue par l'alcool absolu du commerce les écarts que nous avons signalés entre les résistances des divers échantillons de ce corps. Mais ces traces d'eau peuvent agir indirectement en favorisant la dissolution des substances contenues dans les parois des récipients.

Addition de sels à l'alcool. — Il se produit en effet un trouble extrêmement grand, quand on ajoute à l'alcool une trace de sels inappréciable par les réactifs. J'ai reconnu ce fait en ajoutant à un poids connu d'alcool un poids connu et très petit d'une dissolution renfermant $\frac{1}{2000}$ de chlorure de sodium. Une petite quantité

(¹) La première colonne du Tableau donne les poids d'alcool contenus dans 1gr du mélange, la seconde les résistances observées, en prenant pour unité celle du trait de crayon comparé à la colonne liquide. Les températures des différents mélanges ont toutes été comprises entre 20°,3 et 21°,7.

de ce premier mélange fut ensuite ajoutée à une autre masse d'alcool. Les résistances obtenues varient comme il suit :

Proportions de Na Cl.	Résistances.
0	1
$\frac{1}{2630000}$	0,527
$\frac{1}{162000}$	0,125

Une dissolution titrée de potasse a donné un résultat analogue.

Proportions de KO HO.	Résistances.
0	1
$\frac{1}{1320000}$	0,295
$\frac{1}{66100}$	0,0348
$\frac{1}{2540}$	0,00160

L'addition des acides produit des effets semblables. Il suffit donc d'ajouter à l'alcool quelques dix-millionièmes de substances salines, acides ou basiques, pour doubler sa conductibilité. L'effet observé est même plus sensible que pour l'eau, l'alcool étant plus isolant que cette dernière.

Altération de l'alcool par le verre. — Il est naturel de penser, d'après ces résultats, que les récipients de verre, formés en partie de silicates alcalins, augmenteront la conductibilité de l'alcool en se dissolvant dans ce liquide ou dans la trace d'eau qu'il retient. On reconnaît en effet, très aisément, que cette altération se produit, en général, plus vite encore que pour l'eau. Elle est surtout très rapide quand on introduit dans un vase de verre un échantillon d'alcool très isolant recueilli dans un récipient de porcelaine. J'ai observé dans ces conditions les résistances suivantes :

Séjour dans le verre.	Résistances.
0 jours	1
1 »	0,770
2 »	0,699
12 »	0,505

Je citerai encore, comme exemple frappant de cette altération, les mesures que j'ai faites sur un alcool absolu préparé avec des précautions particulières, et conservé pendant deux ans au Labo-

ratoire de Chimie de l'École Normale, dans un flacon de verre plein et bouché. Plusieurs mesures faites sur cet alcool m'ont donné pour sa résistance spécifique des résultats bien concordants, dont la moyenne est

$$0^{\text{még}},278.$$

Ce nombre est de 9 à 13 fois plus faible que les résultats relatifs aux alcools absolus du commerce. Cet alcool manifestait, du reste, la trace de sels de soude qu'il contenait par la coloration jaune prise par la flamme d'un bec Bunsen, après la combustion complète d'une petite quantité de cet alcool sur une lame de platine.

Quand l'alcool est chauffé dans le verre au-dessus de 40°, l'altération devient beaucoup plus rapide. Avec certains verres, la conductibilité double alors en quelques minutes.

Le changement de résistance de l'alcool est, au contraire, extrêmement lent dans la porcelaine, substance formée de sels peu solubles dans ce liquide.

Maximum de résistance. — Les faits qui précèdent montrent que les impuretés les plus ordinaires de l'alcool sont de nature à augmenter, par leur présence, sa conductibilité. Il paraît donc vraisemblable que l'alcool le plus isolant sera celui qui se rapprochera le plus de l'état de pureté. Il y a, par conséquent, intérêt à rechercher quelles conditions fournira, dans l'état actuel de la Science, ce maximum de résistance, sans qu'on puisse toutefois se flatter de posséder ni la vraie résistance théorique, ni la pureté absolue du réactif.

Pour éliminer l'influence du verre, j'ai fait recueillir à l'usine de M. Billault de l'alcool absolu dans des vases de porcelaine. Cet alcool est, du reste, préparé dans un alambic en cuivre où il en passe fréquemment de grandes quantités. On doit donc obtenir ainsi le meilleur résultat dont le procédé de fabrication usité dans le commerce soit susceptible.

J'ai observé deux échantillons de cet alcool. Le premier, recueilli dans un vase de porcelaine vernissée, a présenté une résistance de

$$5^{\text{még}},14;$$

le second, recueilli dans de la porcelaine non vernissée, a donné

$$5^{\text{még}},44,$$

à la même température 15°. Ces deux nombres, notablement supérieurs à tous ceux que j'avais obtenus précédemment, mettent hors de doute la supériorité des conditions de conservation. De plus, le second est un peu supérieur au premier, et l'échantillon contenu dans la porcelaine non vernissée présentait encore au bout de six jours une résistance égale à

$$5^{\text{még}},24,$$

tandis que le second échantillon s'altérait un peu plus rapidement. Il semble donc que le vernis intérieur fournisse encore à l'alcool quelques traces de matières solubles, et qu'il soit préférable d'en rejeter l'emploi.

Enfin M. Delachanal, directeur du Bureau de contrôle des alcoomètres, a bien voulu mettre à ma disposition quelques échantillons d'alcool au minimum de densité, préparé par une série de distillations convenablement alternées, en présence de la chaux et de la baryte anhydres. Deux échantillons de cet alcool, provenant d'une même opération, m'ont d'abord été remis, l'un dans un vase de porcelaine, l'autre dans un vase de verre, le 15 juillet 1885. Ils ont été observés moins de deux heures après leur préparation. Le premier m'a donné à 15° la résistance

$$7^{\text{még}},031,$$

la plus grande que j'aie obtenue. Cet alcool paraît donc être le plus pur que l'on sache, actuellement, préparer. L'autre échantillon, altéré déjà par son séjour dans le verre, a donné seulement

$$2^{\text{még}},823.$$

Six jours plus tard, une nouvelle préparation d'alcool fut exécutée pour contrôler le premier résultat. Le nouvel échantillon, recueilli, comme le premier, dans un vase de porcelaine, a donné, à la même température,

$$6^{\text{még}},899.$$

Ce nombre diffère du premier de moins de $\frac{1}{50}$ de sa valeur. Cet écart doit évidemment être mis sur le compte des causes d'erreur de toute nature que présentent de semblables mesures. Il y a lieu de regarder les résultats comme concordants entre eux et comme établissant la supériorité du dernier mode de préparation et celle des vases de porcelaine pour la conservation de l'alcool [1].

Influence de la température. — J'ai cherché comment varie la résistance de l'alcool quand on change sa température. Cette opération présente quelques difficultés, à cause de l'altération progressive de l'alcool par les parois mêmes de l'appareil de mesure. On ne peut opérer avec exactitude aux températures supérieures à 25°. Pour éliminer les erreurs tenant à l'altération du liquide, on faisait une première mesure en opérant à la température ordinaire. On portait ensuite l'appareil à une température différente, puis on le ramenait à la température ordinaire pour faire une nouvelle observation. La moyenne du premier et du dernier résultat était considérée comme comparable au résultat intermédiaire. On peut, du reste, en opérant rapidement, faire en sorte que l'écart entre les observations extrêmes ne dépasse pas $\frac{1}{100}$ des nombres trouvés.

Les résistances R_t et $R_{t'}$ aux deux températures t et t' peuvent toujours être liées par une relation de la forme

$$R_t = R_{t'} \times \alpha^{t'-t}.$$

Si la résistance décroissait en progression géométrique, quand la température croît en progression arithmétique, le coefficient α serait une constante et représenterait le facteur par lequel la résistance est multipliée pour chaque abaissement de température d'un degré.

La valeur de α a été déterminée pour chaque groupe d'expériences. Elle diminue quand la température s'élève. J'ai obtenu les valeurs moyennes suivantes :

Entre	$-19^\circ,5$	et $+17^\circ$.....	$\alpha = 1,0156$
»	0	et $+15$.....	$\alpha = 1,0147$
»	$+12$	et $+24$.....	$\alpha = 1,0135$

[1] La résistance de l'alcool le plus isolant vaut sensiblement dix fois celle de l'eau la plus isolante que j'aie observée.

Ces mesures ont été répétées avec plusieurs échantillons d'alcool différemment résistants. Les écarts observés entre les valeurs de α relatives aux mêmes températures ne dépassent pas les limites des erreurs d'observation. L'influence de la température paraît donc être la même sur les résistances des divers échantillons d'alcool anhydre.

J'ai établi dans un précédent Mémoire que les résistances de l'eau distillée et de plusieurs sels fondus aux diverses températures varient proportionnellement aux coefficients de frottement intérieur des mêmes corps. Le même fait a été précédemment signalé par M. Grossmann, pour certaines dissolutions salines. Cette relation simple ne se vérifie pas pour l'alcool, dont le coefficient de frottement varie beaucoup plus vite que la résistance. C'est ce qui résulte des valeurs suivantes du coefficient β de variation du frottement intérieur par degré de température :

Entre	-12° et $+22^{\circ}$.....	$\beta = 1,0219$
»	$+10$ et $+25$.....	$\beta = 1,0206$
»	$+12$ et $+50$.....	$\beta = 1,0194$

Les deux derniers de ces résultats sont déduits des expériences de M. Wijkander (¹). Le premier est tiré de mes propres expériences qui ont été exécutées en comparant les durées d'écoulement de l'alcool à différentes températures à travers un même tube capillaire.

Les valeurs de α et de β sont trop différentes pour qu'on puisse regarder les écarts comme accidentels. Le phénomène de la conductibilité électrique se présente donc pour l'alcool avec un degré de complication plus grand que pour l'eau et les sels.

Sur les raies spectrales de l'hydrogène et des métaux;

par M. A. Cornu.

Le progrès des études spectrales et l'extension merveilleuse de leurs applications ont posé l'un des plus beaux problèmes qui se

---

(¹) Wijkander, *Beiblätter*, t. III, p. 8.

soient jamais offerts aux expérimentateurs et aux théoriciens :

Étant donnée la composition chimique d'une vapeur portée à l'incandescence dans des conditions définies, prévoir la répartition des raies du spectre des radiations émises et leur intensité relative.

Quoique l'attention des observateurs ait été bien des fois attirée sur ce problème, la solution n'en paraît pas très avancée : je me propose, après avoir rappelé brièvement les points sur lesquels les efforts sont venus échouer, d'indiquer un ordre de faits qui semblent ouvrir une voie nouvelle.

Le point de départ de toutes les recherches de ce genre est la remarque suivante :

Lorsqu'on examine les spectres lumineux des vapeurs incandescentes, on distingue souvent des groupes de raies qui se reproduisent avec une périodicité plus ou moins régulière : ces répétitions sont encore plus frappantes lorsqu'on étend le champ des observations jusqu'à la limite extrême du spectre ultra-violet.

L'analogie de ces groupes périodiques avec les harmoniques des corps sonores se présente immédiatement à l'esprit. L'idée est d'autant plus séduisante que les positions de ces groupes, considérées tantôt sur l'échelle des longueurs d'onde, tantôt sur celle des nombres de vibrations, paraissent coïncider avec des termes successifs de la série des nombres entiers. Aussi n'est-il guère de spectroscopistes qui n'aient pas cédé à cet entraînement et qui n'aient pas cherché à ranger des raies d'un même spectre suivant une série harmonique.

Malheureusement la simplicité des relations numériques s'évanouit toujours, lorsqu'on substitue à la contemplation des images spectrales la détermination numérique précise des longueurs d'onde : la voie des spéculations théoriques semble donc fermée de ce côté.

Cet insuccès ne doit pas décourager les observateurs; toutefois l'espoir de trouver une loi simple, comme celle des harmoniques musicaux, témoigne d'une idée préconçue qu'il importe d'écarter immédiatement; cette loi des nombres entiers ne s'applique qu'à une forme très particulière de corps sonores dont le type est la

colonne cylindrique de longueur très grande par rapport à la section : si la forme du corps vibrant s'écarte de ce type spécial, la relation entre les nombres de vibrations des sons successifs devient très complexe ([1]).

Cette simple remarque suffit à montrer qu'il serait puéril de chercher comme loi générale une relation aussi simple que celle des harmoniques des instruments musicaux : ce serait supposer à la structure des molécules incandescentes une constitution mécanique que l'ensemble des phénomènes chimiques ou physiques ne pourrait guère justifier. Des lois moins simples ne réussissent pas mieux et cela ne doit point étonner : les considérations précédentes montrent même qu'on doit s'attendre à rencontrer, pour définir la répartition des raies spectrales, des fonctions très complexes dépendant de la nature chimique de l'élément, de la structure moléculaire de la vapeur, des conditions d'excitation vibratoire, etc.

En fait, ce qui paraît avoir rendu stériles les efforts tentés en vue de la solution du problème, c'est qu'on a cru devoir s'imposer *a priori* la fonction destinée à représenter la succession des raies spectrales. Je crois qu'il faut au contraire, rejetant toute idée préconçue sur l'expression mathématique du phénomène, chercher par expérience s'il n'existe pas de fonctions spéciales (exprimables ou non par les symboles ordinaires de l'Analyse) susceptibles de réunir dans une loi commune ces séries, dont la régularité et l'analogie ne sont évidemment pas fortuites.

Envisagée à ce point de vue, la question change donc de face et

---

([1]) Par exemple, dès que les colonnes cylindriques présentent une section comparable à leur longueur, ce qui est le cas des tiges ou des verges, le nombre n des vibrations transversales est donné, suivant que les extrémités sont fixes ou libres, par les racines de l'équation transcendante

$$\frac{e^{+k\sqrt{n}} - e^{-k\sqrt{n}}}{2} \cos k\sqrt{n} \pm 1 = 0;$$

l'intensité de chaque son dépend, d'ailleurs, des fonctions qui définissent les conditions initiales du mouvement. Les valeurs de ces racines, qui ne sont pas sans analogie avec les intervalles de certaines raies spectrales, approchent indéfiniment de la série plus simple $k\sqrt{n} = (2i \pm 1)\frac{\pi}{2}$ lorsque l'ordre i grandit suffisamment.

le problème consiste à rechercher si dans tous les spectres il ne se rencontre pas quelques groupes de raies présentant des caractères communs, indépendants de la nature chimique de la vapeur incandescente.

C'est dans cet ordre d'idées que depuis longtemps je poursuis l'étude des spectres visibles et ultra-violets, et je suis parvenu à reconnaître qu'il existe effectivement une catégorie de raies spectrales offrant des caractères si distincts qu'on ne saurait les confondre avec les autres : ce sont les raies *spontanément renversables* que j'ai décrites en 1871 (¹) et dont j'ai montré l'existence dans la plupart des spectres de vapeurs métalliques. La disposition commune de leurs groupements, comme on le verra bientôt, me paraît définir une de ces formes expérimentales de fonction répondant aux conditions énoncées. Voici d'ailleurs l'exposé des faits.

Caractères des raies spontanément renversables. — Ils sont bien connus des physiciens et ont été observés, pour la première fois, dans la combustion du sodium par M. Fizeau; je les rappellerai brièvement. Une vapeur incandescente, sous faible densité et à basse température, émet une certaine radiation qui correspond, dans l'observation spectrale, à une certaine raie brillante, mais très fine; si l'on augmente progressivement la température et la densité de la vapeur, la raie croît en intensité et en largeur et devient une véritable bande lumineuse à bords estompés : bientôt on voit, sur cette bande, naître une ligne sombre à la place de la raie fine primitive; finalement, la bande lumineuse s'élargit d'une manière en quelque sorte indéfinie, offrant toujours la ligne sombre qui s'élargit aussi d'une manière à peu près proportionnelle. Sur le fond lumineux produit par l'épanouissement de la bande, les raies brillantes non renversables s'évanouissent complètement.

Ces phénomènes, observables dans le spectre visible avec la plupart des métaux volatils et l'étincelle d'induction, présentent des proportions énormes dans l'arc électrique, et surtout dans la région ultra-violette. Je citerai en particulier la raie $\lambda = 228,85$ du cadmium; extrêmement faible avec l'étincelle d'induction,

(¹) *Comptes rendus*, t. LXXIII, p. 332.

cette raie s'élargit dans l'arc au point d'envahir la presque totalité du spectre photographique; quant à la bande sombre de renversement qui en forme le centre, elle arrive à occuper plus de la moitié de l'intervalle compris entre les raies 23 et 24 (notations de M. Mascart), qui disparaissent presque complètement. On peut encore citer la raie $\lambda = 209$ du zinc; deux des composantes de la raie quadruple du magnésium, $\lambda = 280$, ainsi que les belles séries de l'aluminium et du thallium figurées plus loin.

Divers observateurs, en première ligne MM. Liveing et Dewar, ont obtenu un très grand nombre de renversements curieux dans les circonstances les plus diverses. Les plus intéressants sont ceux des raies de l'hydrogène dans le spectre visible, et dans l'ultraviolet celui de la raie $\lambda = 285$ du magnésium, qu'on reproduit avec facilité en brûlant le métal à l'air.

J'ajouterai que les *raies longues,* définies un peu arbitrairement par certains spectroscopistes, rentrent souvent dans la catégorie des raies spontanément renversables.

Il est à peine besoin de rappeler que les lois ordinaires de l'absorption lumineuse et du refroidissement suffisent à expliquer en détail tous ces phénomènes; mais il n'est pas inutile de remarquer que si la théorie prévoit la possibilité du renversement d'une raie donnée, elle ne nous apprend rien sur la propriété de certaines radiations d'offrir, dans des conditions données, le renversement spectral à l'exclusion des autres; c'est cette propriété qui me paraît constituer un élément nouveau et caractéristique.

Quelles sont en général les conditions de température, de pression et de densité les plus favorables à la production de ce pouvoir émissif singulier? C'est ce qu'il serait difficile de dire actuellement. On l'obtient par l'incandescence des vapeurs métalliques dans un espace plus ou moins limité, échauffé par l'arc électrique ou la combustion directe; mais il est évident que ces conditions auraient besoin d'être précisées et qu'elles sont plus ou moins imparfaitement remplies par les divers moyens à l'aide desquels on obtient les spectres d'émission. Quoi qu'il en soit de l'imperfection de ces moyens, l'importance de cette constitution limite s'accroît encore par les rapprochements qui vont suivre.

Disposition particulière des groupes spontanément ren-

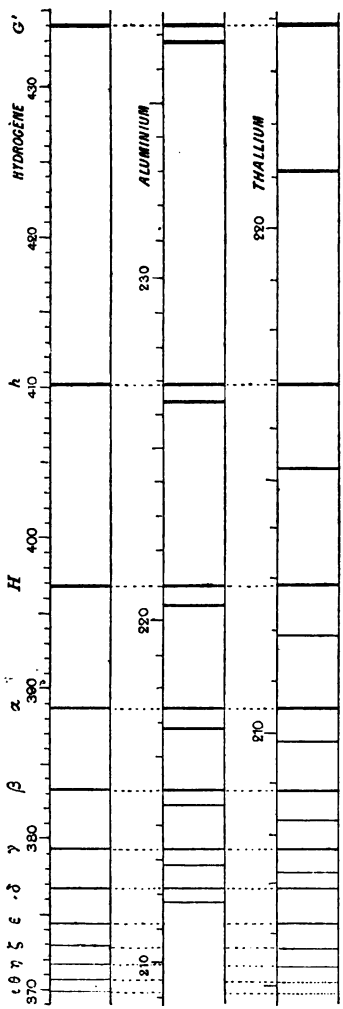
versables. — Lorsqu'on examine sur divers clichés photographiques (1) des groupes de raies qui se reproduisent périodiquement avec une régularité particulière, on reconnaît le plus souvent que ces groupes appartiennent précisément à la catégorie des raies spontanément renversables, car les unes sont renversées, les autres sur le point de l'être : pour un même métal, les renversements sont plus ou moins complets suivant les conditions de l'expérience, et pour des métaux différents, suivant les propriétés chimiques et physiques du métal. De plus, la loi de distribution de ces groupes présente un autre caractère commun relativement à la succession des distances et des intensités : *les raies vont en se resserrant vers le côté le plus réfrangible et en diminuant d'intensité.* Ce caractère est d'autant plus frappant que le nombre des raies renversées est plus considérable, et que le champ sur lequel elles se détachent est plus uniforme; il semble qu'avec l'élévation de température le spectre tende vers un aspect limite, celui d'un fond brillant continu, dépouillé de toute raie autre que celle de la série régulière des raies spontanément renversées. C'est sur cette constitution, en quelque sorte *limite,* que je désire attirer l'attention des observateurs.

Le nombre des spectres métalliques pouvant donner une série régulière de raies spontanément renversées sur un fond continu est assez considérable; mais les plus belles séries que j'aie observées ont été fournies par deux métaux qu'on ne s'attendrait guère, au point de vue chimique, à trouver côte à côte : ce sont l'aluminium et le thallium, dont les équivalents sont aux extrémités de la liste de ceux des corps simples. La figure ci-dessus donne une idée de la répartition de ces raies renversées; on voit qu'elles forment dans chaque spectre une série de doublets remplissant les conditions de distance et d'intensité énoncées plus haut.

---

(1) Les clichés photographiques ont l'avantage d'offrir une vue d'ensemble : avec l'appareil dont je me sers (demi-prismes de quartz gauche et droit, lentilles achromatiques quartz fluorine), on obtient sur la même épreuve et avec une netteté satisfaisante la totalité du spectre violet et ultra-violet : la réduction à l'échelle des longueurs d'onde s'effectue à l'aide d'un spectre de comparaison formé des raies du cadmium, du zinc et de l'aluminium dont j'ai déterminé avec soin les longueurs d'onde (*Journal de Physique,* 1re série, t. X, p. 425); on obtient ce spectre auxiliaire à l'aide d'une étincelle d'induction jaillissant entre deux pointes d'un alliage formé de poids égaux de ces trois métaux.

Analogie avec la répartition des raies de l'hydrogène. — Je ne m'arrêterai pas à indiquer les essais infructueux de calculs numériques que j'avais entrepris en vue de représenter chacune de



Légende explicative.

Les graduations définissent les raies en longueurs d'onde (unité : millionième de millimètre).

La première ligne représente les raies sombres du spectre violet et ultra-violet des étoiles blanches d'après les mesures du Dr Huggins (*Comptes rendus*, t. XC, p. 72) : c'est le spectre de l'hydrogène.

La deuxième représente une double série de raies renversée dans le spectre ultra-violet de l'aluminium (arc électrique) : l'échelle du dessin a été choisie de manière à faire coïncider avec G' et δ les raies homologues de la première série (première raie de chaque doublet) : on aurait pu opérer de même avec la seconde série (deuxièmes raies). Ce mode de représentation remplace avantageusement les tableaux numériques montrant la vérification des deux formules empiriques :

$$\text{Première série} \ldots\ldots \quad \lambda_1 = 47{,}30 + 0{,}43783\,h;$$
$$\text{Deuxième série} \ldots\ldots \quad \lambda_2 = 47{,}18 + 0{,}43678\,h,$$

qui donnent la longueur d'onde de chaque raie en fonction de la longueur d'onde h de la raie correspondante de l'hydrogène : la différence entre le calcul et l'observation est de l'ordre des erreurs d'expériences.

La troisième ligne représente une double série de raies renversées dans le spectre ultra-violet du thallium (arc électrique) : l'échelle du dessin a été choisie comme ci-dessus ; les formules empiriques qui représentent ces deux séries sont

$$\lambda_1 = 94{,}61 + 0{,}29776\,h, \qquad \lambda_2 = 111{,}31 + 0{,}75294\,h.$$

ces séries par la substitution de la série des nombres entiers dans une fonction simple : je dirai seulement que j'avais abandonné ces recherches lorsque la belle découverte du Dr Huggins, sur le

spectre des étoiles blanches, ramena vivement mon attention sur ce sujet et m'ouvrit un horizon nouveau. Ces spectres présentent, en effet, une série commune de raies sombres, c'est-à-dire renversées, remplissant précisément les conditions de distance et d'intensité qui caractérisent dans les spectres métalliques les raies spontanément renversables : elle prolonge la série des raies bien connues du spectre de l'hydrogène C, F, G', *h*; on pouvait donc prévoir que la série entière en faisait partie; c'est ce qu'ont depuis confirmé les travaux de M. Vogel sans cependant lever toute incertitude. L'intérêt de cette identification était tel que j'ai tenu à la vérifier moi-même, ce que je n'ai pu réaliser que dernièrement (1). L'expérience n'est pas sans difficulté; mais, en prenant des précautions de plus en plus minutieuses pour écarter les impuretés du gaz hydrogène raréfié, j'ai vu successivement s'effacer les raies étrangères, et finalement j'ai réussi à obtenir des clichés photographiques offrant la série des raies stellaires dans toute leur pureté. (*Voir* l'article ci-après).

Le spectre de l'hydrogène est placé sur la première ligne du dessin ci-joint : on a rendu la comparaison plus facile par le choix des échelles, de manière à montrer intuitivement l'identité de la loi de répartition des raies dans les trois spectres. On comparerait de même des groupes plus complexes, comme ceux du magnésium, du zinc, du sodium, etc.; la seule difficulté est d'établir la concordance des groupes; on y arrive immédiatement par une construction graphique assez simple. On en conclut l'énoncé suivant qui résume l'ensemble de mes recherches : *Dans les spectres métalliques, certaines séries de raies spontanément renversables présentent sensiblement les mêmes lois de répartition et d'intensité que les raies de l'hydrogène* (2).

Il n'est pas nécessaire d'insister longuement sur l'importance de cette relation : elle met en évidence l'existence d'une loi très générale relative aux pouvoirs émissifs des vapeurs incandescentes

---

(1) Avec l'obligeant concours de M. Alvergniat.

(2) D'autres séries de raies, de catégories voisines, semblent également satisfaire à la même loi; néanmoins je me bornerai aujourd'hui à l'énoncé ci-dessus, bien que je risque ainsi de paraître accorder aux raies spontanément renversables plus d'importance qu'elles n'en ont en réalité.

et, d'autre part, elle montre que cette loi de succession des raies spectrales, commune à tant de séries, paraît devoir être exprimable à l'aide d'une même fonction, que l'on pourra appeler la *fonction hydrogénique,* laquelle devra jouer un rôle capital dans ces études : le résultat précédent paraît donc constituer un premier pas vers la solution des grands problèmes qui se posent en spectroscopie.

Tubes à hydrogène; par M. A. Cornu.

Tous les physiciens savent combien il est difficile d'obtenir des tubes à hydrogène ne contenant pas de substances étrangères : après de longs essais, j'ai réussi à obtenir à coup sûr des tubes ne contenant plus que des traces d'impuretés qu'on parviendrait même à faire disparaître entièrement en prolongeant les opérations.

Les précautions à prendre sont de plusieurs sortes :

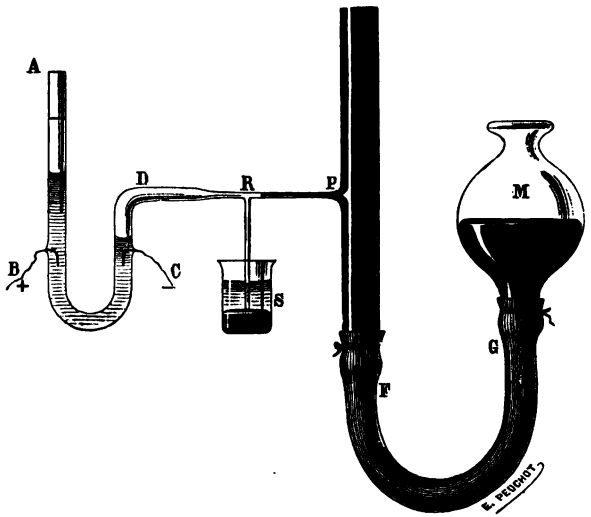
1° On doit éloigner le plus possible de la pompe à mercure les appareils que l'effluve électrique doit ou peut traverser; on y parvient en établissant la communication par l'intermédiaire de plusieurs mètres de tubes de verre courbés en hélice séparant des tubes de plus gros diamètres, contenant d'abord des fragments de soufre (aussi peu odorant que possible) et ensuite de la tournure de cuivre: le soufre arrête la vapeur de mercure et le cuivre arrête le soufre.

Pour isoler les extrémités de l'appareil, on interpose dans un des intervalles un baromètre dont la chambre a la forme d'un V et dont la cuvette est mobile pour former soupape de fermeture. Dans la capacité ainsi isolée on dispose un autre baromètre à large chambre présentant à son extrémité inférieure un tube latéral PR, presque capillaire, par lequel on introduit les gaz à raréfier.

Il est à peine utile de dire que toutes les parties de l'appareil, jusqu'à la soupape à mercure, doivent être soudées et que les joints à caoutchouc, ou même les joints de verre rodés (réunis

nécessairement avec une cire grasse), doivent être entièrement proscrits.

2° On prépare l'hydrogène par l'électrolyse de l'eau acidulée par l'acide phosphorique fondu; le voltamètre est formé d'un tube en U, représenté en ABCD, raccordé par soudure au tube PR de jonction au baromètre. Au point de jonction R est soudé un petit tube vertical plongeant dans un godet S contenant de l'eau acidulée et du mercure.



Pour faire passer une bulle de gaz dans le baromètre, et par suite dans la capacité isolée de l'appareil, il suffit de soulever avec précaution la cuvette mobile M du baromètre, laquelle est formée d'un vase en forme de poire, réuni par un tube de caoutchouc.

On arrête le dégagement en abaissant la cuvette à un niveau convenable; si on l'abaissait trop, le mercure s'écoulerait dans le godet R comme par un siphon. Au commencement de l'expérience on verse de l'eau acidulée dans le tube-voltamètre ABCD; on le remplit totalement jusqu'au point R et même jusqu'en S en abaissant légèrement le godet S, parce que la branche RS fait siphon. Avec un peu d'adresse on arrive à chasser toute bulle d'air, soit en manœuvrant la cuvette mobile M du baromètre qui fait office de trompe, soit le niveau dans le tube AB.

Pour préparer le gaz, on fait passer le courant de quatre à cinq couples Bunsen par les fils B, C; l'un des gaz s'échappe par la branche ouverte BA, l'autre s'accumule dans la capacité DR: le tube RS fait alors office de tube de sûreté.

Pour obtenir le spectre de l'hydrogène exempt de substances étrangères, on commence par faire le vide, aussi complet que possible, dans l'appareil jusqu'à ce que l'étincelle d'induction ne passe plus dans les tubes à électrodes ou dans les tubes à gaines de M. Salet, qu'on emploie à l'étude spectrale. On fait passer quelques bulles d'hydrogène et l'on raréfie peu à peu. On voit apparaître inévitablement les bandes et les raies de divers composés carbonés : il suffit, en effet, que l'effluve électrique rencontre un tube mal nettoyé à l'intérieur ou la graisse d'un robinet pour que ces composés se forment instantanément ([1]). Pour se débarrasser de ces impuretés, on *lave* l'appareil avec de l'ozone; à cet effet, on renverse le courant dans le voltamètre après l'avoir vidé d'hydrogène, et l'on remplit l'appareil d'oxygène à la pression de 1^{mm} à 2^{mm}. On fait passer l'étincelle dans toute la capacité isolée par la soupape de mercure en fixant les fils de la bobine à deux lames d'étain collées extérieurement aux extrémités des tubes; on arrête de temps en temps l'étincelle pour faire le vide, qu'on pousse jusqu'à ce que l'effluve ne passe plus.

On recommence à remplir l'appareil avec quelques bulles d'hydrogène et on lave de même avec l'effluve d'hydrogène électrisé, et ainsi de suite alternativement avec l'hydrogène et l'oxygène.

On prolonge les opérations aussi longtemps que cela est nécessaire; à chaque fois on constate que le fond sur lequel se détachent les raies de l'hydrogène devient de plus en plus sombre : l'observation se fait avec un spectroscope ordinaire, ou mieux avec un spectroscope photographique qui donne des indications plus déli-

---

([1]) J'ai observé ce phénomène pour la première fois dans des circonstances très instructives : le spectre de l'hydrogène étant assez pur, l'un des fils de la bobine d'induction vint à se détacher par hasard : aussitôt, tout l'appareil y compris la trompe, se remplit d'une lueur brillante rosée, mais, au bout de quelques secondes, cette lueur passa du rose au blanc : lorsque le fil de la bobine fut remis en place, le spectre de l'hydrogène était rempli de bandes et de raies étrangères. J'ai depuis répété cette expérience qui, *malheureusement,* ne manque jamais de réussir.

cates en raison de l'intensité des raies des composés carbonés dans les régions violettes et ultra-violettes.

C'est en opérant ainsi que je suis parvenu à obtenir, avec des tubes à gaines (1), les séries de spectres photographiques indiquées plus haut, et, bien que les dernières traces des impuretés fussent encore visibles, j'ai acquis la conviction qu'en prolongeant suffisamment les opérations on arriverait à les effacer entièrement. Dans ces tubes ainsi purifiés, l'éclat des raies de l'hydrogène, ainsi qu'ont pu le constater un grand nombre de membres de la Société est vraiment admirable.

SÉANCE DU 18 DÉCEMBRE 1885.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 décembre est lu et adopté.

MM. Béghin (Auguste), Professeur à l'École nationale des Arts industriels de Roubaix.

Borel, Docteur en médecine, à Puy-Saint-Martin (Drôme).

Ebel, Ingénieur des Arts et Manufactures, Chef de laboratoire à l'usine Edison.

Martinet, Professeur au Lycée Janson de Sailly.

Meylan, Ingénieur à Paris.

Pellin, Ingénieur des Arts et Manufactures, associé de M. J. Duboscq.

Philippe, Professeur au Collège Sainte-Barbe.

M. le Secrétaire général signale dans la Correspondance :

1° Une Note de M. D. Tommasi *sur le calcul de la force électromotrice des piles;*

2° Une Note de M. E. Delaurier *sur une nouvelle lampe à incandescence.*

M. le Président donne lecture d'une circulaire des administrateurs du *Fonds Élisabeth Thompson pour l'avancement des Sciences*, faisant connaître que la première annuité de cette fondation importante (625000^{fr}) est actuellement disponible et sera employée, suivant les intentions de la donatrice, à encourager des recherches scientifiques, d'ordre quelconque,

---

(1) Les tubes à électrodes d'aluminium donnent plus d'éclat, mais sont plus difficiles à purifier.

ayant un caractère d'utilité générale. Les demandes doivent être adressées au Secrétaire du Comité, Dr Minot, 25 mt Vernon street, Boston, Mass., U. S. A.

M. le Trésorier dépose sur le Bureau les comptes de l'année 1885.

Une Commission, composée de MM. Carpentier, Duboscq (Jules) et de Romilly, est nommée pour en prendre connaissance; d'après le règlement, la Commission devra présenter son Rapport à l'Assemblée générale du 15 janvier.

M. Rechniewski donne la construction graphique du couple moteur en fonction de la vitesse des dynamos réceptrices.

Le couple moteur C d'une dynamo réceptrice est déterminé quand on connaît le courant I_a dans l'ouverture et le champ magnétique H. On a, en effet, $C = \alpha IH$, où α est une constante.

Le problème se présente dans le cas général comme suit : Étant donnés une génératrice par sa caractéristique, la résistance de la ligne et les enroulements de la réceptrice, trouver des valeurs correspondantes du couple moteur et de la vitesse de rotation de celle-ci. Soit I le courant circulant dans la ligne, la caractéristique de la génératrice permettra de trouver la différence de potentiel aux bornes de cette dernière et, connaissant la résistance de la ligne, la différence de potentiel $\Delta P'$ aux bornes de la réceptrice. Connaissant I et $\Delta P'$, nous connaissons les courants circulant dans les deux enroulements de la réceptrice, et par conséquent aussi leur action magnétisante, et, au moyen de sa courbe du magnétisme, son champ magnétique H; le couple moteur est par conséquent déterminé, $C = \alpha IH$. Mais, pour que le courant I puisse exister dans la ligne, il faut que la vitesse de la réceptrice soit bien celle qui produit une force contre-électromotrice égale à $\Delta P' - R_a I_a = \Delta P''$. Mais la force électromotrice d'une machine étant proportionnelle au champ magnétique H et au nombre de tours par seconde n, nous aurons

$$\Delta P'' = \beta n H,$$

d'où

$$n = \frac{\Delta P''}{\beta H}.$$

En opérant de cette manière pour différents courants I, nous obtiendrons facilement un nombre suffisant de valeurs correspondantes de C et n pour pouvoir les représenter par une courbe.

Pour le cas très important d'une distribution sous potentiel constant, les calculs se simplifient encore.

La méthode graphique a ici un grand avantage, elle permet de partir directement de la caractéristique et de la courbe du magnétisme des machines pour construire les valeurs correspondantes de C et n; on n'a pas besoin d'exprimer d'abord analytiquement ces courbes.

M. Dybowski présente un appareil destiné à tracer dans le plan les caustiques par réflexion et par réfraction dans le cas général.

Il se sert dans sa construction d'un dispositif qui se trouve appliqué dans l'appareil intégrateur de M. Mestre, membre de la Société, et qui consiste à employer une molette mobile le long d'une règle; quand la règle se déplace suivant une loi déterminée, la molette décrit l'enveloppe de cette droite. L'appareil à caustiques est formé d'une roulette R que l'on guide à la main pour lui faire décrire la courbe donnée M (miroir ou ligne de séparation de deux milieux). Une tige RN fixée perpendiculairement à la chape de R est par suite constamment normale à la courbe M. Deux règles RA, RB, mobiles autour d'un axe vertical passant par le centre de R, sont reliées par des brides N*a*, N*b* à un anneau N glissant le long de RN.

Dans le cas de la réflexion R*a*N*b* forme un losange articulé, par suite RA et RB font le même angle avec la normale. Un dispositif spécial permet d'assujettir RA à passer par un point fixe *o* à distance finie ou infinie; dans ces conditions, une molette S, pouvant glisser le long de RB, tracera la caustique correspondante au point *o*.

Dans le cas de la réfraction, on déforme le losange et on le remplace par un parallélogramme articulé tel que le rapport des côtés soit égal au rapport des indices.

L'appareil peut servir à tracer des caustiques de caustiques et en particulier des caustiques de lentilles. Pour cela on dispose sur les deux règles RA, RB deux molettes semblables S et S'; puis, après avoir produit dans le papier une rainure suivant la première caustique, donnée par la face d'entrée de la lentille, on place S dans cette rainure. Alors, pendant que la roulette R suit la courbe de sortie de la lentille, S' trace la nouvelle caustique.

Enfin l'appareil est réversible. Si l'on force S à suivre la caustique et RA à passer par un point fixe, la roulette R décrira la courbe M (miroir ou ligne de séparation de deux milieux). Pour que le problème soit déterminé, il faut se donner la position initiale de R, c'est-à-dire un point de la courbe M.

On pourra, en se basant sur cette réversibilité, trouver des miroirs et des lentilles aplanétiques, et en particulier trouver la courbure que doit avoir une lentille plan-convexe pour que des rayons émanés d'un point et traversant cette lentille forment à la sortie un faisceau parallèle (lentilles de phares).

M. L. Godard a entrepris un travail sur la diffusion de la chaleur d'après les conseils de M. P. Desains. Il rappelle rapidement les expériences d'Herschel, de Melloni, de F. de la Provostaye et P. Desains, et de M. Maquenne. Pour la préparation des plaques diffusantes, les substances bien pulvérisées sont mises en suspension, soit dans de l'eau, soit dans de l'alcool, et étendues sur des plaques de verre horizontales. On a renoncé à ajouter au liquide même des traces de colle ou de gomme, pour éviter

le pouvoir réflecteur, et pour ne pas substituer à la substance pulvérisée une couche aussi absorbante que le noir de fumée.

La disposition expérimentale est celle de F. de la Provostaye et P. Desains, avec cette différence que la plaque peut être placée horizontalement.

Ces expériences montrent que la loi du cosinus de l'obliquité est générale, pourvu que les plaques aient une épaisseur suffisante. Cette loi s'applique encore aux substances qui, comme l'argent en poudre et le silicate de cobalt, présentent un pouvoir réflecteur; elle ne s'applique que dans la région où la réflexion n'intervient pas. La rupture brusque de la continuité de la loi du cosinus pour des plaques d'épaisseur très faible permet de déterminer expérimentalement l'épaisseur limite. Cette épaisseur limite, variable d'une substance à l'autre, varie aussi avec la source de chaleur et augmente quand la température de la source diminue. Les expériences sur le blanc de céruse et la poudre de verre montrent que, lorsque l'épaisseur de la plaque est plus faible que l'épaisseur limite, de la chaleur traverse. Les molécules conservent donc leur diathermanéité, quand les corps ont été pulvérisés. Cette épaisseur limite dépend aussi du degré de pulvérisation des substances et de leur état de compression. La compression des poudres introduit un pouvoir réflecteur, qui vient ajouter son effet à celui de la diffusion.

M. Godard fait connaître à la Société que M. Knut Angström a publié, il y a une quinzaine de jours, un travail sur le même sujet. Employant la méthode graphique de Bouguer, M. Angström trouve pour surfaces de diffusion des ellipsoïdes de révolution autour de la normale, ellipsoïdes allongés ou aplatis suivant la valeur de l'angle d'incidence des rayons calorifiques. Suivant M. Godard, cette surface de diffusion est dans tous les cas une sphère, et il fait remarquer que M. Knut Angström n'a pas séparé d'une manière suffisante les rayons réfléchis spéculairement des rayons diffusés. La préparation des plaques est en grande partie la cause de la réflexion.

Sur une demande de M. Pellat, M. Godard fait remarquer que l'épaisseur des plaques a été déterminée au sphéromètre, et que l'approximation du centième de millimètre est bien suffisante, si l'on a égard aux causes si différentes qui influent sur l'épaisseur limite.

Étude sur les machines dynamo-électriques;

par M. Rechniewski.

Couple moteur et vitesse dans les machines dynamos réceptrices.

Il est important, pour les questions de transport d'énergie au moyen de machines électriques, de connaître comment varie le couple moteur des machines réceptrices, lorsque leur vitesse de rotation change. Le meilleur moyen de montrer la loi de variation est de dessiner, pour les différents cas, les courbes représentant le couple moteur en fonction de la vitesse. On peut construire ces courbes graphiquement, d'une manière très simple.

Pour pouvoir résoudre le problème d'une manière générale, il faut connaître tous les facteurs qui influent sur le couple moteur, c'est-à-dire les constantes des deux machines et la résistance de la ligne.

Construction graphique (*fig.* 1). — La machine génératrice marche, en général, à une vitesse constante V. Supposons-la enroulée compound, dans des proportions quelconques; sa marche pourra alors être représentée par sa caractéristique C_g, les abscisses représentant les courants dans la ligne, et les ordonnées les forces électromotrices.

Soient R_i la résistance intérieure de la génératrice, R'_i la résistance intérieure de la réceptrice et R_l la résistance de la ligne. Représentons la résistance intérieure R_i par l'inclinaison de la droite OF, de manière que

$$\text{tang XOF} = R_i,$$

la résistance de la machine et de la ligne $R_i + R_l$ par la droite OE, de manière que

$$\text{tang XOE} = R_i + R_l,$$

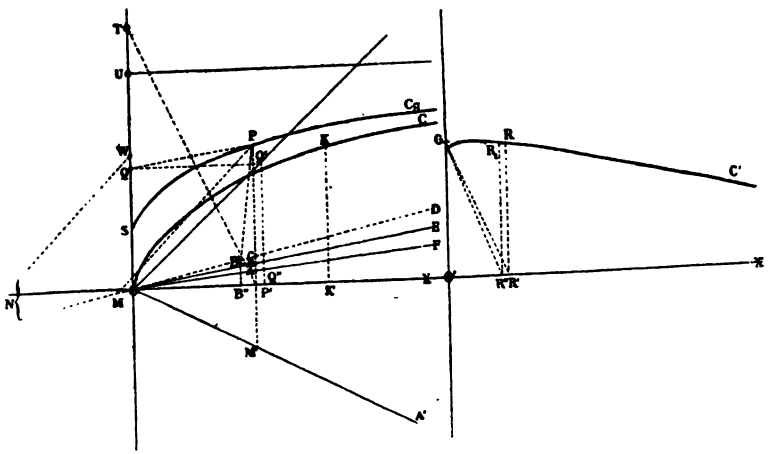
enfin la résistance de la génératrice, de la ligne et de la réceptrice $R_i + R_l + R'_i$ par l'inclinaison de OD, de manière que

$$\text{tang XOD} = R_i + R_l + R'_i.$$

Alors, pour un courant I égal à OP′, PP′ représentera la force électromotrice totale, PA et PB les différences de potentiel aux bornes de la génératrice et de la réceptrice ; enfin PC la force contre-électromotrice de la réceptrice. En effet P′C est la force électromotrice absorbée par toutes les résistances R_i, R_l et R'_i pour le courant considéré OP′; ce qui reste, CP, ne peut donc être que la force contre-électromotrice de la réceptrice.

Connaissant la différence de potentiel PB aux bornes de cette dernière, ainsi que le courant I = OP′, nous pouvons facilement trouver le champ magnétique et, par conséquent, le couple moteur et la vitesse.

Fig. 1.



Pour cela, traçons la courbe C du magnétisme de la réceptrice, en portant sur l'axe des X les forces magnétisantes (nombre d'ampères-tours) et, comme ordonnées, les champs magnétiques H correspondants ([1]).

L'action magnétisante due à la dérivation est proportionnelle à la différence de potentiel ΔP aux bornes, de sorte que nous pourrions toujours tirer une ligne OQ′, inclinée de manière qu'en portant sur l'axe des Y une longueur OQ = BP = ΔP, et en menant par Q une horizontale jusqu'à la rencontre Q de la droite

---

([1]) Voir *La Lumière électrique*, n° 50, 1885.

inclinée, le segment QQ′ représente l'action magnétisante de la dérivation.

De même l'action magnétisante de l'enroulement en série, pour un courant OP′, peut être représentée par l'ordonnée P′M′ de la droite OA′ au point P′.

La force magnétisante totale dans la réceptrice sera donc

$$QQ' + P'M' = OQ'' + Q''K',$$

et le champ magnétique

$$H = KK'.$$

Le courant I de la ligne se divise dans la réceptrice en deux : une partie I_d va dans la dérivation, et l'autre I_a dans l'armature et les électros en série.

Le couple moteur étant proportionnel au champ magnétique et au courant de l'armature peut s'écrire

$$C = \alpha I_a H,$$

où α est une constante dépendant du nombre de spires sur l'induit et des unités choisies.

Dans la plupart des cas de la pratique, on peut négliger I_d par rapport à I_a et admettre que $I_a = I$. Alors nous aurons

$$C = \alpha IH = \alpha OP'KK'.$$

Pour construire cette expression, prenons une longueur

$$OT = \frac{1}{\alpha}$$

et tirons la ligne TP′; nous aurons

$$\text{tang}\, OTP' = \frac{OP'}{OT} = \alpha I.$$

Faisons $O'G = KK' = H$ et tirons GR′ parallèlement à TP′; le segment O′R′ représentera le couple moteur $C = \alpha IH$, pour le courant $I = OP'$.

Mais, pour que ce courant puisse exister dans la ligne, il faut que la vitesse de rotation soit telle que la force contre-électromotrice de la réceptrice soit bien PC : cette force est proportionnelle

au nombre de tours n par seconde et au champ magnétique et peut, par conséquent, s'écrire

$$\Delta P' = \beta n H = \beta n KK' = CP;$$

donc il faut que

$$n = \frac{CP}{\beta KK'}.$$

Portons sur la droite OD un segment $CM = KK'$ et tirons la ligne MP; puis menons par le point N, situé sur OD à une distance de l'origine ON égale à $\frac{1}{\beta}$, une parallèle à NW à MP. Le segment ainsi déterminé OW sera le nombre de tours n par seconde auquel devra marcher la réceptrice.

En portant les deux valeurs correspondantes de n et de C, $n = RR'$ et $C = O'R'$ parallèlement aux axes respectifs, nous obtiendrons un point R de la courbe C′ cherchée reliant le nombre de tours par seconde au couple moteur. En déterminant de la même manière une série de points, il sera facile de construire cette courbe telle qu'elle est dessinée sur la figure.

Dans cette construction, nous avons négligé I_d par rapport à I_a : il est cependant facile d'en tenir compte; en effet, le courant I_d est proportionnel à la différence de potentiel PB aux bornes de la réceptrice; nous pouvons donc couper sur une horizontale par B au moyen d'une ligne convenablement inclinée, par P, un segment BB′ égal à I_d :

$$I_a = I - I_d = OP' - B'B = OB''$$

et, C étant égal à α,

$$I_a H = \alpha OB'' KK'.$$

On le trouverait en menant GR″ parallèlement à TB″; le point R_1 serait alors le vrai point R; mais d'ordinaire on peut négliger cette correction, I_d étant très petit comparativement à I.

Un cas intéressant à étudier, c'est celui d'une distribution d'électricité sous potentiel constant; ce genre de distribution se généralise en effet de plus en plus, à cause de la commodité qu'il offre pour l'éclairage.

Supposons donc que la différence de potentiel ΔP aux bornes de la réceptrice soit constante.

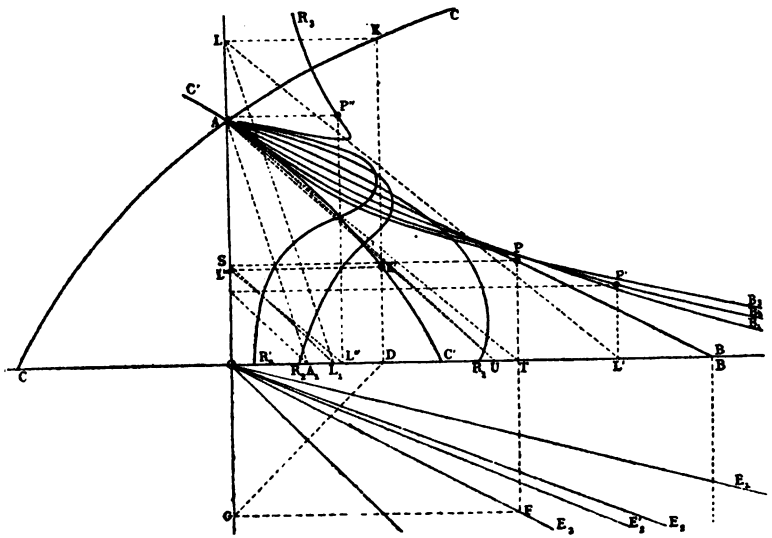
Soient R_a la résistance de l'armature, R_e celle des électros en série, et R_d celle des électros en dérivation (*fig.* 2).

Supposons d'abord que l'enroulement en dérivation des électros existe seul, son action magnétique sera

$$\alpha N_d I_d \alpha N_d \frac{\Delta P}{R_d},$$

où α est une constante et N_d le nombre de tours de fil de la dérivation.

Fig. 2.



Le champ magnétique correspondant sera donné par la courbe du magnétisme comme ordonnée, pour l'abscisse $\alpha N_d \frac{\Delta P}{dR}$; soit H_d ce champ magnétique.

Le courant $I_a = \frac{\Delta P - \Delta P'}{R_i}$, où $\Delta P'$ est la force contre-électromotrice de la réceptrice et R_i la résistance totale de la réceptrice. Nous avons

$$\Delta P' = \beta N H_d$$

et

$$C = \alpha H_d \frac{\Delta P - \beta n H_d}{R_i}. \tag{1}$$

On voit que C est une fonction linéaire de n et pourra être représenté par une droite AB. En portant C comme abscisses et n comme ordonnées, cette droite coupera l'axe des X en B, pour $n = 0$, $C = H_d \frac{\alpha P}{R_i}$ et l'axe des Y en A, pour $C = 0$ et $n = \frac{\Delta P}{\beta H_d}$.

Étudions maintenant ce que devient la fonction $C = f(n)$ lorsque, au même enroulement en dérivation, s'ajoute un enroulement en série.

Dans l'enroulement en dérivation, le champ magnétique H_d est constant, et, par conséquent, le courant est chaque fois proportionnel au couple qu'il produit.

Cherchons quelles sont, pour le même courant I, les valeurs correspondantes de C et de n, pour le nouvel enroulement compound.

Au point P de la droite AB correspond un courant qui est proportionnel au couple OT; son action magnétisante peut être représentée par l'ordonnée TF d'une droite convenablement inclinée à l'origine; en portant cette longueur en OD, nous aurons l'action magnétisante totale des deux enroulements, égale à CO + OD, et le nouveau champ magnétique sera DK. Le courant étant resté le même, le couple doit avoir augmenté comme le rapport des champs magnétiques $\frac{DK}{OA}$.

En faisant OL = DK et menant par L une parallèle LL′ à AT, le segment OL′, coupé sur l'axe des X, sera le nouveau couple C′.

Il faut encore trouver la vitesse correspondante de la réceptrice.

Le courant étant resté le même, il faut que

$$(2) \qquad \frac{\Delta P - \beta n H_d}{R_i} = \frac{\Delta P - \beta n' H'}{R'_i}.$$

Nous pouvons facilement calculer n' de cette équation ou le construire graphiquement. Ayant ainsi deux valeurs correspondantes, C′ et n', nous aurons un point P′ de la nouvelle courbe. En opérant de même pour d'autres points, il sera possible de la tracer d'une manière continue.

Dans les cas ordinaires de la pratique, nous pouvons nous permettre une approximation qui simplifie beaucoup les constructions.

La différence de potentiel aux bornes et la force contre-électromotrice sont, en général, grandes, par rapport à leur différence : leur rapport donne le rendement électrique du moteur; c'est-à-dire que n' varie très peu en grandeur absolue, lorsque R'_i varie, et nous pourrons, en négligeant les variations de n' produites par les changements de R_i, admettre que la résistance intérieure R reste constante, $R_i = R_i$; la formule (2) se réduit alors à

$$(3) \qquad \beta n H_d = \beta n' H' \qquad \text{et} \qquad n' = n \frac{H_d}{H'}.$$

Pour construire cette expression, nous avons toutes les données nécessaires

$$H_a = OA, \qquad H' = OL, \qquad n = TP = OS.$$

Donc, en portant sur l'axe des X, $OL_1 = n$ et en menant AA_1 parallèlement à LL_1, nous couperons sur l'axe des X un segment OA_1 égal à n'.

En opérant de la même manière pour une série de points P, nous obtiendrons une série de points P' et, en les reliant, la courbe cherchée AB_3 pour l'enroulement compound considéré.

Les courbes AB_1 et AB_2 ont été obtenues pour d'autres enroulements en série, représentés par les inclinaisons des droites OE_1 et OE_2.

Ces courbes s'abaissent d'abord au-dessous de la droite AB, pour remonter ensuite et donner un couple final, pour $n = 0$, plus grand que l'enroulement en dérivation seul.

On peut encore faire un enroulement en série agissant en sens contraire de l'enroulement en dérivation, les deux actions magnétisantes se soustrayent, et, dans le cas de l'enroulement représenté par la droite OE_3, la force magnétisante pour le courant correspondant à OI sera

$$OC - OD = OC' - OD = C'D;$$

le champ magnétique sera donné par l'ordonnée DK' de la courbe du magnétisme C', tracée par A symétriquement à la précédente C. Ayant le champ magnétique $DK' = OL'''$, nous opérons comme précédemment pour avoir le couple moteur et le nombre de tours. Pour le couple moteur, nous menons en L''' une parallèle à AT; le segment coupé sur l'axe des X, OL'', est le couple cherché.

Pour trouver le nombre de tours correspondant, faisons $OL_1 = TP$ et menons par A une parallèle AU à SL_1 ; le segment $OU = L''P''$ sera le nouveau nombre de tours n'.

Les courbes AR_1, AR_2, AR'_2, AR_3 ont été obtenues pour des enroulements croissants en série, agissant toujours de manière à affaiblir l'aimantation produite par la dérivation.

Toutes ces courbes partent de AC: leur première partie se relève de plus en plus pour se rapprocher de l'horizontale, tandis que leur autre extrémité se rapproche de plus en plus de l'origine pour remonter finalement le long de l'axe des Y comme la courbe AR_3.

OUVRAGES REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT L'ANNÉE 1885 (suite).

Comptes rendus de l'Académie des Sciences (t. C et CI, 1885), in-4°.

Annales de Chimie et de Physique (6e série, t. IV à VI, 1885), in-8°.

Annales de Chimie et de Physique, 5e série, t. I à XXX, 1874 à 1883. Table des noms d'auteurs et Table analytique des matières dressées par M. *U. Gayon*, 1 vol. in-8°.

Annales de l'École Normale supérieure (2e série, 1885), in-4°.

Revue des Travaux scientifiques, publiée par le Ministère de l'Instruction publique, t. IV, année 1884, et t. V, nos 1, 2, 1885.

Annales télégraphiques (3e série, t. XII, 1885), in-8°.

Bulletin de la Société philomathique de Paris, t. V (1883-1884), nos 1 à 4, in-8°.

Bulletin de la Société des Ingénieurs civils (1885), in-8°.

Mémoires et Comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils, année 1885, in-8°.

L'Électricien (année 1885).

Annuaire météorologique et agricole de l'Observatoire de Montsouris (1886), in-18.

Bulletin de la Compagnie internationale des téléphones, année 1885.

L'Aéronaute (année 1885), in-8°.

Comité météorologique de l'Ouest méditerranéen (Bulletin du département de l'Hérault, 1884), in-4°.

Proceedings of the Royal Society, in-8°, vol. XXXVIII, n° 238.

Philosophical Magazine (t. XIX à XX, 1885), in-8°.

Annalen der Physik und Chemie (nouvelle série, t. XXIV à XXVI, 1885), in-8°.

Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences naturelles, 2e série, vol. XX, nos 91 et 92.

Bulletin de la Société Physico-Chimique de Saint-Pétersbourg (année 1885), in-8°.

Journal de l'École polytechnique impériale russe, 1885.

Journal of the Society of Telegraph Engineers and of Electricians (vol. XIV, nos 51 à 58), in-8°.

Elektrotechnische Zeitschrift, t. V, 1885.

Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie, t. IX, 1885.

The American Journal of Science, vol. XXIX et XXX, 1885.

The Physical Society of London (Proceedings, vol. VI, Parties I et II; January and october 1885), in-8°.

Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, sessions de 1878 à 1883 (5 vol.).

Transactions of the Royal Society of Edinburgh, sessions de 1878 à 1882, vol. XXXIX, XXX et vol. XXXII. 1re Partie, session 1882-83.

The scientific Proceedings of the royal Dublin Society (vol. IV, Partie V, July 1884, et vol. IV, Partie VI january 1885,

Annales de l'École polytechnique de Delft (nos 1 et 2), 1885.

Bulletin of the Philosophical Society of Washington, vol. IV (1881) et vol. V, 1882.

Journal and Proceedings of the Royal Society of New-South Wales, vol. XVI, 1882, et vol. XVII, 1883.

La Chronique industrielle, par M. *Casalonga*, année 1885.

Die Fortschritte der Physik, Band XXXVI (1880).

Pontificia Universita Gregoriana. — Bullettino meteorologico dell' Osservatorio del Collegio Romano (vol. XXIII, 1884), in-4°.

Bulletin de la Société minéralogique de France, t. I à VII (1879-1884), janvier à novembre 1885 (t. VIII).

Institutui Meteorologic Romanei : Buletinul ministeruli agriculturei, industriei, comerciului Saint-Domeniilor, Anul. I, 1885, nos 1 à 7.

Revue Internationale de l'Électricité, 1885, nos 1 à 4.

Organe industriel de Bruxelles, nos 466 à 480.

Cours de Physique à l'usage des élèves de la classe de Mathématiques spéciales. Tome II, 1re Partie : Cinématique, Dynamique, instruments de mesure, capillarité, par M. *H. Pellat*, 1 vol. in-8°.

La Science romaine à l'époque d'Auguste, étude historique d'après Vitruve; par M. *A. Terquem*, br. in-8°.

Éloge de P.-A. Daguin; par M. *Brunhes*.

Memoria acerca de la primera exposicion internacional de electricidad celebrada en Europa; par *R. Roig y Torrès*, br. in-8°.

Mouvement-Limitation. La forme des corps répond à leur mouvement; par M. *A. Bandsept*, br. in-8°.

Ein Beitrag zur Mechanik der Explosionen; von *E. Mach* und *J. Wentzel*, br. in-8°.

Die Schwingungsknoten. Theorie der chemischen Verbindungen; von M. *H. Teploff*, br. in-8°.

Essai d'une théorie générale supérieure de Philosophie naturelle et de Thermochimie, avec une nouvelle nomenclature binaire notative pour la Chimie minérale et organique, 1er, 2e, 3e et 4e fascicule; in-8°.

Ueber das Verhalten der flüssigen atmosphärischen Luft; von *S. de Wroblewski*, br. in-8°.

Ueber den electrischen Widerstand des Kupfers bei den höchsten Kältegraden; von *S. de Wroblewski*, br. in-8°.

Ueber den Gebrauch des siedenden Sauerstoffs, Stickstoffs, Kohlenoxyds, sowie der atmosphärischen Luft als Kaltemittel; von *S. de Wroblewski*, br. in-8°.

Ueber die Gesetze des Luftwiderstandes nach Versuchen mit dem Schellbach'schen Rotationsapparate; von *Thiesen*, br. in-8°.

Pouvoir calorifique du gaz d'éclairage; par M. *Witz*, br. in-8°.

Comparaison des mètres dans l'air à la température ambiante (Extrait des *Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures*); par M. *J. Pernet*, br. in-4°.

L'Elettrocalorimetro confrontato col thermometro di Riess; par M. *Roiti*, br. in-8°.

Di un elettrocalorimetro e di alcune misure fatte con esso intorno al generatore secondario Gaulard et Gibbs; par M. *Roiti*, br. in-8°.

Les accumulateurs électriques et la mécanique de l'électrolyse; par M. *Albert Bandsept*, br. in-8°.

Sopra una nuova forma di elettrodinamometro; par M. *Manfredo Bellati*, br. in-8°.

Influence des orages sur les lignes souterraines; par M. *E.-E. Blavier*, br. in-8°.

Légendes et planches du travail des paratonnerres à pointes, à conducteurs et à raccordements multiples; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Précis thérapeutique et instrumental; par M. *Tripier*.

Traité d'Électricité et de Magnétisme de *James Clerk Maxwell*, traduit de l'anglais, sur la 2e édition; par M. *Seligmann-Lui*, avec notes et éclaircissements, par MM. *Cornu*, *Potier* et *Sarrau* (2e fascicule), in-8°.

Sur les progrès de la science électrique et les nouvelles machines d'induction, par M. *Boulanger*, in-8°.

Ueber die unipoläre Leitung erhitzter Gaze; von *Julius Elster* und *Hans Geitel*, br. in-8°.

Notiz über eine Influenzmaschine einfachster Form; von *Julius Elster* und *Hans Geitel*, br. in-8°.

Osservazioni continue della elettricità atmosferica fatte a Firenze nel 1884. Seconda Memoria; par *L. Pasqualini* et *A. Roiti*, br. in-8°.

L'Électricité à l'Exposition universelle d'Anvers; par M. *Ch. Mourlon*, 1 vol. in-8°.

Actions électrodynamiques renfermant des fonctions arbitraires : hypothèses qui déterminent ces fonctions; par M. *Le Cordier*, br. in-4°.

Les lois physiques du magnétisme et la polarité humaine; par M. *Duroville*.

Recherches expérimentales sur la variation des indices de réfraction sous l'influence de la chaleur (thèse); par M. *H. Dufet*, br. in-8°.

Einige Versuche über totale Reflexion und anomale Dispersion; von *E. Mach* und *Arbes*, br. in-8°.

Ueber polaristrobometrische Methoden; insbesondere über Halbschattenapparate; von M. *L. Lippich*, br. in-8°.

N. B. — Tous les Ouvrages de la Bibliothèque sont à la disposition de MM. les Membres de la Société. Les Membres habitant la province auront à payer les frais de poste pour les Ouvrages qui leur seront envoyés en communication.

TABLE PAR NOMS D'AUTEURS

DES MATIÈRES CONTENUES DANS LES ANNÉES 1873 A 1885 [1].

ABRIA. — Cristaux uniaxes, 1875, 64.

ALLUARD. — Hygromètre à condensation, 1878, 98.

ALMEIDA (D'). — Paratonnerres de M. Melsens, 1878, 9. — Représentation des actions moléculaires, expériences de M. A.-M. Mayer, 1879, 9.

ANDRÉ (CH.). — Diffraction dans les instruments d'optique, 1876, 130. — Goutte noire, 1876, 206.

ANGOT (A.). — Photographie, 1877, 101. — Instruments enregistreurs de MM. Richard, 1881, 71. — Psychromètre, 1881, 262. — Rapport sur l'exercice 1882 (1883), 62; — sur l'exercice 1883 (1884), 64.

ARSONVAL (D'). — Téléphone, 1882, 194. — Batteries de polarisation, 1885, 16. — Excitation électrique, 1885, 61.

AYMONNET. — Graduation des galvanomètres, 1878, 201. — Pile à un seul liquide, 1881, 229.

BAILLE (J.-B.). — Potentiels et distances explosives, 1882, 16. — Détermination de l'ohm, 1885, 12.

BARBIER (P.). — Téléphone Ochorowicz, 1885, 17.

BARLOW. — Logographe, 1878, 177.

BECQUEREL (ED.). — Spectre infra-rouge, 1877, 31. — Allocution, 1877, 153.

BECQUEREL (HENRI). — Étincelle d'induction, 1875, 89. — Polarisation rotatoire magnétique, 1876, 70. — Pouvoir rotatoire, 1879, 94. — Polarisation atmosphérique, 1879, 235. — Pouvoir magnétique des corps en unités absolues, 1885, 117.

BELLET. — Crayon voltaïque, 1879, 89.

BENOIT (J. RENÉ). — Électromètre Thomson, 1877, 25. — Régulateur de température, 1879, 6. — Étalons de l'ohm légal, 1884, 255.

BENOIT (R.), MASCART, NERVILLE (F. DE). — Détermination de l'ohm, 1884, 123.

BERTHELOT. — Lettre au sujet de la Note de M. Maumené, 1878, 152. — Chaleur dégagée par le mélange de l'eau avec l'acide sulfurique, 1878, 153. — Allocution, 1880, 5.

BERTIN (A.). — Appareil de M. J. Duboscq pour projeter les expériences de polarisation, 1874, 62. — Allocution, 1874, 113. — Radiomètre, 1877, 46. — Rotation électromagnétique des liquides; appareil de M. J. Duboscq, 1878, 64. — Houppes des cristaux, 1879, 62. — Appareil redresseur de M. J. Duboscq, 1879, 73. — Balance d'induction de M. Hughes, 1880, 68. — Pince à tourmalines, 1880, 104. — Franges des lames cristallisées, 1883, 43.

BERTIN et J. DUBOSCQ. — Sur les miroirs magiques, 1880, 108.

BICHAT. — Transformation de l'électricité, 1874, 97.

BJERKNES (C.-A.). — Phénomènes hydroélectriques, 1879, 189.

[1] Ces Tables ont été dressées par les soins de M. *J. Libert*, Professeur au Collège de Morlaix, Membre de la Société.

BERSON. — Influence de la température sur l'aimantation, 1882, 201.
BLAVIER (E.-E.). — Allocution, 1878. 213. — Courants telluriques, 1883, 201. — Influence des orages, 1885, 153.
BLONDLOT (R.). — Dilatation galvanique, 1879, 59. — Propriété du sélénium, 1880, 196. — Capacité de polarisation, 1881, 28.
BOBILEFF. — Figures gyroscopiques, 1884, 134.
BOISTEL. — Brûleur Siemens, 1881, 25.
BONNIER (G.). — Discours sur la tombe de M. J.-Ch. d'Almeida, 1880, 201.
BONTEMPS (CH.). — Tubes pneumatiques, 1873, 80. — Mouvement de l'air dans les tuyaux, 1874, 10.
BOUDET DE PARIS. — Pont différentiel, 1882, 11. — Transmission téléphonique sous-marine, 1884, 121. — Excitation électrique, 1885, 60.
BOUDRÉAUX. — Raies des métaux et leur renversement, 1874, 101.
BOURBOUZE. — Méthode optique appliquée aux tuyaux, 1873, 90.
BOURGET (J.). — Tubes de Pinaud, 1873, 35.
BOURSEUL. — Électrophone, 1878, 201.
BOUSSINESQ et TERQUEM (A.). — Théorie des battements, 1875, 52.
BOUTY (E.). — Rupture des aimants, 1875, 83. — Théorie du contact d'épreuve, 1876, 87. — Phénomènes mécaniques accompagnant l'électrolyse, 1879, 126. — Expériences de M. Crookes, 1880, 7. — Phénomènes thermo-électriques, 1880, 96. — Phénomène de Peltier, 1880, 101. — Contraction des dépôts galvaniques, 1881, 82. — Polarisation des électrodes, 1882, 83. — Conductibilité des dissolutions, 1882, 52.
BOUTY et CAILLETET. — Conductibilité électrique des métaux, 1885, 97.
BOUTY et FOUSSEREAU. — Résistance des liquides, 1885, 157.
BRÉGUET (A.). — Téléphones à courant de pile, 1878, 13. — Téléphone à ficelle, 1878, 36. — Téléphone à mercure, 1878, 40. — Théorie de la machine de Gramme, 1878, 158. — Appareils de rotation électromagnétique, 1878, 180. — Enroulements magnétiques, 1879, 104. — Photophone de Bell, 1880, 153.
BRILLOUIN. — Liquéfaction des gaz, 1877, 143.
CABANELLAS (G.). — Transport de l'énergie, 1882, 204. — Limites du transport, 1883, 119. — Théorie des dynamos, 1884, 173. — Théorie de la machine Gramme, 92.
CADIAT. — Transport de la force, 1878, 70.
CAILLETET (L.). — Manomètre, 1876, 37. — Compressibilité des gaz, 1879, 82. — Des mélanges gazeux, 1880, 27. — Pompe à comprimer les gaz, 1882, 69. — Appareil pour la préparation de CO^2 solide, 1884, 268. — Liquéfaction de l'oxygène, 1885, 71.
CAILLETET et BOUTY. — Conductibilité électrique des métaux, 1885, 97.
CAMACHO. — Électro-aimant, 1875, 74.
CARPENTIER (I.). — Frein funiculaire, 1880, 116. — Mélographe, 1882, 161. — Installation des galvanomètres, échelle transparente, 1884, 39.
CASPARI (E.). — Déviation des boussoles, 1873, 69. — Isochronisme des spiraux de chronomètre, 1876, 22.
CAVAILLÉ-COLL. — Résonnance des salles, 1877, 13.
CAZES. — Photographies stéréoscopiques, 1885, 115. — Photographie d'éclairs, 1885, 130.
CAZIN (A.). — Quantité de magnétisme d'un aimant, 1873, 23. — Étincelles composées, 1873, 43. — Observations faites à l'île Saint-Paul, 1875, 123. — Spectre de l'étincelle dans un gaz comprimé, 1877, 89.
CHAMPION (P.), PELLET (H.), GRENIER (M.). — Spectrométrie, 1873, 49.
CHAPERON (G.). — Polarisation des métaux oxydables, 1884, 89.
CHAPPUIS (I.) et HAUTEFEUILLE (P.). — Liquéfaction de l'ozone, 1882, 128,
CHAPPUIS (I.). — Spectres de l'ozone et de l'acide pernitrique, 1882, 130.
CHAPPUIS (I.) et RIVIÈRE (C.). — Indices de réfraction des gaz, 1883, 193.
CHARDIN et PRAYER. — Sonde microphonique, 1879, 89.
CHARDONNET (DE). — Transparence actinique, 1882, 170.
CHAUTARD (I.). — Spectres des gaz raréfiés, 1877, 26. — Raies de la chlorophylle, 1876, 31.
CLÉMANDOT. — Trempe des aimants, 1885, 62.
CLAMOND (C.). — Pile thermo-électrique, 1874, 56.
COLSON. — Téléphone, 1885, 15.
CORNU (A.). — Vitesse de la lumière, 1873, 16. — Achromatisme chimique,

1874, 16.— Levier à réflexion, 1874, 85. — Vitesse de la lumière et parallaxe du Soleil, 1874, 106. — Éléments d'un système optique, 1877, 53. — Spectre ultra-violet, 1878, 24. — Spectroscope pour les radiations ultra-violettes, 1879, 39. — Absorption atmosphérique des radiations ultra-violettes, 1880, 119.— Photométrie, 1881, 50.— Double réfraction circulaire, 1881, 224. — Allocution, 1882, 7. — Achromatisme dans les phénomènes d'interférence, 1882, 32. — Spectroscope à grande dispersion, 1882, 105. — Raies telluriques et métalliques, 1882, 241. — Raies telluriques, 1884, 41. — Couronne solaire, 1884, 199. — Surface de l'onde, 1885, 33. — Raies de l'hydrogène et des métaux, 1885, 182.— Tubes à hydrogène, 1885, 190.

Cros (Ch.). — Photographie des couleurs, 1879, 35.

Cros (Ch.) et Vergeraud (A.). — Papier positif direct, 1883, 37.

Crova (A.). — Mesure spectrométrique des hautes températures, 1880, 65. — Gyroscope magnétique, 1882, 76. — Commutateur, 1882, 117. — Hygromètre à condensation intérieure, 1883, 69.

Curie (J. et P.). — Phénomènes électriques des cristaux hémièdres, 1882, 20.

Debrun (E.). — Électromètre capillaire, 1880, 62.

Delachanal. — Pantographe vertical de M. Dumoulin-Froment, 1884, 75.

Deleuil. — Balance de laboratoire, 1875, 10. — Électro-aimant servant à la purification des pâtes de porcelaine, 1875, 28.

Deprez (Marcel). — Étincelle d'induction et électro-aimants, 1874, 93. — Appareil servant à relever le travail de la vapeur, 1878, 128. — Foyers calorifiques de M. Paquelin, 1878, 44. — Régulateur de vitesse, 1878, 165. — — Indicateur électrique de pression. 1879, 20. — Machine magnéto-électrique, 1879, 92. — Rendement des moteurs électriques, 1880, 35. — Synchronisme électrique, 1880, 48. — Interrupteur pour bobines d'induction, 1881, 34.

D'Henry (L.). — Tableau graphique pour la polarisation, 1884, 68.

Duboscq (Jules). — Projections des corps placés horizontalement, 1876, 6. — Galvanomètre à projection, 1876, 9. — Résistance des impressions sur la rétine, 1877, 10; 1880, 108.

Duboscq (Jules) et Bertin. — Miroirs magiques, 1884, 65.

Duboscq (Albert). — Support universel pour électrodiapason, 1878, 145.

Ducretet (E.). — Rhéotome liquide, 1875, 17. — Boussole de Pouillet, 1880, 78.

Dufet (H). — Indices de réfraction des mélanges isomorphes, 1878, 112, 1880, 161. — Indice de réfraction du gypse, 1881, 236. — Indices de réfraction de l'eau et du quartz, 1883, 104. — Indice de réfraction du quartz, 1884, 150. — Loi de Gladstone, 1885, 132.

Dumoulin-Froment. — Gyroscope marin de M. Dubois, 1878, 195.

Duter (E.). — Magnétisme des plaques, 1875, 129; 1877, 136. — Nouveau phénomène d'électricité statique, 1878, 198; 1879, 51.

Dybowski. — Tracé des caustiques, 1885; 1885, 195.

Egoroff. — Électro-actinomètre, 1876, 158.

Fizeau. — Allocution, 1873, 95.

Fontaine. — Intensité d'un foyer électrique, 1879, 157.

Foussereau (G.). — Résistance électrique du verre, 1883, 86. — Résistance des substances isolantes, 1884, 212. — De l'alcool, 1885, 175.

Foussereau et Bouty. — Mesure et résistance liquide, 1885, 157.

Frank (C.). — Figures pour projections, 1881, 45. — Inscriptions des courbes, 1881, 47.

Gaiffe (A.). — Voltmètres et ampèremètres, 1878, 86.

Garbe. — Spectroscope à fente inclinée, 1883, 59.

Gariel (G.-M.). — Appareils pour les lois de l'optique, 1875, 2. — Phénakisticope de projection, 1876, 201. — Abaque graphique des lentilles, 1877, 21. — Machine parlante de M. Faber, 1879, 99. — Lentille du Dr Cusco, 1880, 57. — Explorateur électrique de M. Trouvé, 1880, 79. — Appareil de M. Trouvé pour illuminer les cavités, 1880, 80. — Formule des piles, 1881, 282. — Piles de M. Guérin et de MM. Wiet et Larochelle, 1885, 129.

Gasté (de). — Discours sur la tombe

de M. J.-Ch. d'Almeida, 1880, 200.
GAUMET. — Télémètre, 1879, 120. — Campylomètre, 1879, 173.
GERNEZ (D.). — Rôle des gaz dans l'ébullition, 1873, 8. — Expériences de capillarité, 1873, 57. — Surfusion et sursaturation, 1873, 88. — Décomposition de certains corps sursaturés explosibles, 1875, 29. — Température de solidification, 1876, 153. — Production des deux variétés de soufre, 1876, 162. — Production de divers hydrates dans les solutions sursaturées, 1877, 117. — Ébullition des liquides superposés, 1878, 90. — Décomposition des liquides explosifs et ébullition des liquides surchauffés, 1878, 185. — Pouvoir rotatoire du quartz, 1878, 210. — Distillation par l'électricité, 1879, 176. — Allocution, 1883, 3. — Durée de la solidification des corps surfondus, 1883, 38. — Durée de la solidification du soufre surfondu, 1884, 14. — Surchauffe cristalline du soufre, 1884, 79. — Transformation du soufre prismatique en octaédrique, 1885, 78.
GILLET DE GRANDMONT. — Sensibilité de la rétine, 1881, 146.
GODARD (L.). — Diffusion de la chaleur, 1885, 195.
GOULIER. — Calibreur de tubes barométriques, 1882, 157.
GOUY (A.). — Spectres des métaux à la base des flammes, 1877, 52. — Photométrie des flammes colorées, 1879, 208. — Polarisation rotatoire, 1880, 133.
GOVI (G.). — Induction électrostatique, 1875, 92. — Nouveaux prismes réflecteurs, 1876, 147. — Expérience démontrant la polarisation rotatoire, 1882, 75.
GRIPON (E.). — Lames de collodion, 1875, 66.
GRENIER (M.), CHAMPION (H.), PELLET (H.). — Spectrométrie, 1873, 49.
GRÉHANT (N.). — Cils vibratiles, 1884, 170. — Endosmose et gaz, 1884, 170. — Appareil de MM. Regnault et Reiset, 1885, 26.
GRÉHANT et QUINQUAUD. — Pression dans les vaisseaux sanguins, 1885, 42.
GROSSETESTE (W.). — Application de la dilatation d'un liquide, 1876, 156.
GUÉBHARD (A.). — Anneaux colorés, 1879, 227. — Figuration électrochimique des lignes équipotentielles, 1881, 292, 1882, 182. — Puissance des appareils dioptriques, 1883, 122. — Force électromotrice des dépôts électrolytiques, 1884, 101.
GUÉROUT (A.). — Électroscope, 1879, 80.
GUILLEMIN (C.-M.). — Augmentation de l'étincelle d'induction, 1873, 28.
HILLAIRET (A.). — Machine de Wimshurst, 1885, 163.
HOSPITALIER. — Conjoncteur et disjoncteur, 1881, 190. — Pile au bichromate de potasse de M. Trouvé, 1883, 99. — Limites du transport de la force, 1883, 110. — Mesure des courants redressés, 1885, 113.
HAUTEFEUILLE (P.) et CHAPPUIS (J.). — Liquéfaction de l'ozone, 1882, 128.
HUGO (L.). — Nombre de granulations solaires, 1818, p. 19.
JABLOCHKOFF. — Bougie électrique, 1876, 182. — Divisibilité de la lumière électrique, 1877, 78. — Canalisation des courants, 1878, 16.
JAMIN (J.). — Application d'armatures à des aimants tout formés, 1875, 12. — Allocution, 1875, 135. — Aimantation des aciers garnis d'armatures, 1875, 22. — Profondeur et superposition des couches aimantées, 1875, 47. — Singulier cas d'aimantation, 1875, 103. — Distribution du magnétisme, 1876, 82.
JANNETTAZ (ED.). — Propagation de la chaleur dans les cristaux, 1876, 53. — Axes de conductibilité technique et de l'élasticité de flexion, 1876, 121. — Propagation de la chaleur et de l'élasticité dans les matières de structure symétrique, 1877, 72; 1885, 6.
JANSSEN (J.). — Mirage en mer, 1885, 118. — Photographie de la comète *b*, 1881 (1882), 53. — Allocution, 1884, 8.
JAVAL. — Appareil pour la mesure de l'astigmatisme, 1877, 40. — Illusion d'optique, 1879, 149. — Mesure de l'astigmatisme, 1880, 138. — Rayon de courbure de la cornée, 1881, 59. — Leçon d'optique de l'œil, 1882, 180.
JOUBERT (J.). — Pouvoir rotatoire du quartz, 1878, 204. — Courants alternatifs et force électromotrice de l'arc voltaïque, 1880, 146. — Théorie des machines à courants alternatifs, 1880, 167.
JUNGFLEISCH. — Production artificielle des matières organiques douées du pouvoir rotatoire, 1874, 42.

HÉLOUÏS. — Bec carbo-oxyhydrique, 1883, 58.
KŒNIG. — Différences de phase entre les vibrations de deux téléphones associés, 1879, 149. — Battements, 1883, 103. — Harmoniques, 1883, 109.
LACOINE (E.). — Rayon d'action des paratonnerres, 1879, 162.
LAMANSKY (S.). — Loi de Stokes, 1879, 167.
LANDOLT. — Télémètre et ophtalmomètre, 1882, 111.
LARTIGUE. — Électro-aimant de Hughes, 1875, 41. — Auditions téléphoniques de l'Opéra, 1881, 243.
LAURENT (L.). — Réfraction conique, 1873, 84. — Saccharimètre à pénombre, 1874, 7. — Lumière monochromatique, 1874, 46. — Lanterne de projection, 1877, 80. — Miroirs magiques, 1881, 131; 1884, 73. — Appareil de polarisation, 1881, 278. — Polarimètre à lumière ordinaire, 1882, 146. — Appareils pour contrôler les surfaces optiques, 1883, 770; 1885, 52.
LE BLANC (F.). — Essai du gaz, 1876, 11. — Étalons de lumière, 1884, 162.
LECHAT. — Vibrations à la surface d'un liquide, 1880, 83.
LE CHATELIER et MALLARD. — Combustion des mélanges gazeux, 1881, 268. — Iodure d'argent, 1885, 18.
LECOQ DE BOISBAUDRAN. — Propriété du gallium, 1876, 117, 119.
LEDUC (A.). — Phénomène de Hall, 1884, 189.
LIPPMANN (G.). — Expériences électrocapillaires, 1874, 53. — Surface d'eau électrisée, 1876, 165. — Radiomètre de Crookes, 1876, 175. — Propriétés superficielles du mercure, 1878, 60. — Dépolarisation, 1878, 161. — Écrans magnétiques, 1879, 12. — Propriété, optique d'une lame polarisée, 1881, 32. — Conservation de l'électricité, 1881, 149. — Détermination de l'ohm, 1881, 309. — Méthodes pour la détermination de l'ohm, 1882, 121. — Méthode thermoscopique pour la détermination de l'ohm, 1882, 250. — Couches doubles électriques, 1882, 251. — Force électromotrice du zinc amalgamé, 1884, 69. — Galvanomètre à mercure, 1884, 157. — Potentiel d'un système de bobines, 1885, 131. — Entretien électrique des diapasons, 1885, 25. — Constante capillaire, 1885, 174.
LISSAJOUS. — Rapport sur la proposition de fonder une Société française de Physique, 1873, 5. — Flamme sifflante, 1873, 14. — Propagation des ondes, 1873, 14. — Appareils pour la réfraction conique, 1873, 84.
MACÉ DE LÉPINAY (J.) et NICATI (N.). — Photométrie des sources diversement colorées, 1883, 11.
MACH (E.). — Ondes produites par les étincelles, 1881, 210.
MALLARD (E.). — Polarisation rotatoire, 1881, 119. — Dimorphisme de la boracite, 1884, 60.
MALLARD et LE CHATELIER. — Combustion des mélanges gazeux, 1881, 268. — Dimorphisme de l'iodure d'argent, 1885, 18.
MAREY. — Chronographe, 1874, 4. — Résistance de l'air sous l'aile de l'oiseau, 1874, 29. — Ondes liquides, 1875, 95. — Loch à cadran, 1876, 17. — Dromographe, 1877, 109. — Torpille, 1877, 17. — Poissons électriques, 1879, 32. — Locomotion animale, 1882, 197. — Vol des oiseaux, 1883, 144. — Locomotion de l'homme, 1885, 67.
MARIÉ-DAVY. — Météorologie appliquée, 1875, 114. — Magnétisme terrestre, 1876, 172. — Évaporomètre, 1877, 98. — Enregistreurs météorologiques, 1878, 132.
MASCART. — Régulateurs de courants, 1873, 59. — Thermomètre électrique, 1873, 62. — Spectroscope de M. Ladd, 1873, 93. — Trempe des verres, 1874, 23. — Composition des couleurs, 1875, 7. — Supports isolants, 1878, 88. — Étincelles colorées avec la machine de M. Teploff, 1879, 16. — Inscription des phénomènes météorologiques, 1879, 182. — Discours sur la tombe de M. J.-Ch. d'Almeida, 1880, 198. — Enregistreurs de l'électricité atmosphérique et dumagnétisme, 1881, 66. — Allocution, 1881, 15. — Équivalent électrochimique de l'eau, 1882, 43. — Perturbation magnétique, 1882, 126. — Réseaux de M. H.-A. Rowland, 1882, 232. — Discours; inauguration du buste de Ch. d'Almeida, 1883, 65. — Baromètre à gravité, 1883, 135. — Détermination de l'ohm, 1884, 123. — Théorie de la machine de Gramme, 1885, 105.
MAUMENÉ (E.-F.). — Quantités de cha-

leur dégagées par le mélange de l'eau avec l'acide sulfurique, 1878, 148.
MELSENS. — Historique sur l'inscription des vibrations, 1874, 47. — Gaz et liquides condensés, 1874, 49. — Passage des projectiles à travers les milieux résistants, 1881, 218.
MENDELSSOHN. — Force du courant nerveux, 1885, 90.
MERCADIER (E.). — Lois du mouvement vibratoire des diapasons, 1876, 41. — Composition des mouvements vibratoires, 1876, 57. — Éléments d'un mouvement vibratoire, 1879, 211. — Radiophonie, 1880, 184; 1881, 38; 1881, 122; 1885, 170. — Chronographe enregistreur de M. A. Duboscq, 1881, 163. — Vibrations des verges, 1884, 163. — Vibrations des plaques; appareils de projection de A. Duboscq, 1885, 77.
MÉRITENS (DE). — Machines magnéto-électriques, 1881, 21.
MEYER. — Appareils télégraphiques à transmissions multiples, 1874, 35.
MICHELSON (A.). — Thermomètre très sensible, 1882, 66.
MONCEL (DU). — Conductibilité des corps médiocrement conducteurs, 1875, 5. — Conductibilité des minéraux, 1875, 126. — Polarisation des minéraux, 1876, 122. — Téléphone de M. Hughes, 1878, 101.
MONOYER (F.). — Systèmes dioptriques centrés, 1883, 148.
MOREAU (ARMAND). — Vessie natatoire, 1875, 19. — Canal de sûreté des poissons, 1875, 90.
MOSER (J.). — Renforcement des courants téléphoniques, 1883, 54.
MOUTON (L.). — Sur la polarisation elliptique, 1875, 32. — Induction, 1876, 185. — Réflexion métallique, 1878, 75. — Longueur d'onde des rayons obscurs, 1879, 199. — Radiations infra-rouges, 1880, 29.
NACHET (jeune). — Chambre claire, 1882, 101.
NAPOLI (D.). — Nouveau photomètre, 1880, 53.
NEYRENEUF. — Différence d'effet des fluides négatifs et positifs, 1873, 30. — Combustion des mélanges détonants, 1875, 71. — Flamme sensible, 1882, 79. — Niveau à gaz, 1882, 80. — Flamme intermittente, 1883, 67.
NERVILLE (F. DE), MASCART, BENOIT (R.). — Détermination de l'ohm, 1884, 123.
NIAUDET (A.). — Piles de M. Camacho, 1877, 94. — Des téléphones, 1877, 110. — Le phonographe d'Édison, 1878, 47. — Pile thermo-électrique de M. Noé, 1878, 155. — Téléphone de M. Gower, 1879, 48. — Pile au chlorure de chaux, 1879, 206. — Galvanomètre de M. Marcel Deprez, 1880, 39.
NICATI (W.) et MACÉ DE LÉPINAY (J.). — Photométrie des sources diversement colorées, 1883, 11.
NODOT. — Cannelures de MM. Fizeau et Foucault, 1875, 69. — Réfraction conique, 1875, 133. — Microscope polarisant, 1877, 69.
OGIER (J.). — Combinaison de l'hydrogène phosphoré avec HCl dans l'appareil de M. Cailletet, 1880, 95.
PARINAUD. — Intensités lumineuses des couleurs spectrales, 1884, 206.
PELLAT (H.). — Synthèse des couleurs composées, 1878, 189. — Forces électromotrices des piles et forces électromotrices du contact des métaux, 1880, 18. — Différences de potentiel de deux métaux au contact, 1880, 176. — Décharge d'un condensateur et énergie des courants téléphoniques, 1881, 143. — Influence d'un métal sur la nature de la surface d'un autre métal, 1882, 61. — Couches électriques doubles, 1883, 30. — Électrisation des nuages, 1884, 181. — Force électromotrice de combustion, 1885, 27.
PELLET (H.), CHAMPION (P.) et GRENIER (M.). — Spectrométrie, 1873, 49.
PENAUD. — Appareil de vol mécanique, 1875, 105.
PERNET (J.). — Mesure des températures avec le thermomètre à mercure, 1881, 136.
PILLEUX. — Mouvement des atomes, 1883, 85.
PICOU. — Sensibilité des instruments de mesure (1883), 36.
POLLARD (J.). — Rapport sur l'exercice de 1884-1885, 7.
PERRODON. — Téléphone avertisseur, 1879, 53.
PLANTÉ (GASTON). — Lettre relative à un rhéotome liquide construit par M. E. Ducretet, 1875, 40.
POPP. — Horloges pneumatiques, 1881, 23.
POTIER. — Force électromotrice de quelques couples, 1884, 179. — Allocution, 1885, 9. — Théorie de la machine de Gramme, 93.

PRAYER et CHARDIN. — Sonde microphonique, 1879, 89.
QUINQUAUD et GRÉHANT. — Pression dans les vaisseaux sanguins, 1885, 42.
RENARD (CH.). — Pneumodensimètre, 1882, 194.
REYNIER (E.). — Lampe électrique à réophores circulaires, 1877, 95. — Lampe à incandescence, 1878, 95; 1879, 153. — Pile voltaïque, 1880, 140. — Pile secondaire de M. Faure, 1881, 102. — Rendement des piles secondaires, 1881, 104. — Pile étalon, 1883, 186. — Force électromotrice des couples à un seul électrolyte, 1883, 190. — Théorie des accumulateurs, 1884, 85. — Protection des zincs, 1885, 145. — Foisonnement du plomb, 1885, 43.
RIGHI. — Téléphone, 1878, 168. — Polarité rémanente de l'acier, 1880, 114.
ROBIN (P.). — Systèmes articulés, 1880, 164.
ROLLAND (L.). — Résistance intérieure des éléments thermo-électriques, 1877, 84.
ROMILLY (F. DE). — Entraînement de l'air, 1875, 75. — Jet d'air dans l'eau, 1877, 2. — Expériences de capillarité, 1877, 5. — Ébullition de l'eau sur un tissu à larges mailles, 1877, 6. — Machines élévatoires et appareils à faire le vide, 1881, 93. — Appareils à faire le vide, 1885, 94.
RIVIÈRE (C.) et CHAPPUIS (J.). — Indices de réfraction des gaz, 1883, 193.
RECHNIEWSKI. — Construction graphique du couple moteur, 1885, p. 197.
ROSENSTIEHL. — Étude des sensations lumineuses colorées, 1877, 120. — Sensations colorées fondamentales, 1881, 166. — Intensités relatives des couleurs, 1882, 103. — Couleurs complémentaires, 1883, 8.
ROSSETTI. — Température de l'arc voltaïque, 1879, 103.
SAINT-LOUP. — Phonographe à plateau, 1879, 172.
SCHWEDOFF (TH.). — Vibration des cordes, 1878, 144. — Observations sur les expériences de M. Bjerknes, 1880, 16. — Forme et structure des grêlons, 1881, 112.
SCIAMA (G.). — Galvanomètre de Sir W. Thomson, 1884, 110.
SEBERT. — Accélérographe de M. Deprez, 1879, 107. — Sensibilité des amorces électriques, 1885, 143.
SHOLBRED (J.-N.). — Rendement des machines dynamo-électriques, 1881, 255. — Valeur de l'incandescence dans la lumière électrique, 1881, 258.
SIDOT. — Verre phosphorique, 1883, 175.
SIRE (G.). — Dévioscope, 1881, 76. — Hygromètre à condensation, 1885, 150.
SPOTTISWOODE (W.). — Machine de M. de Méritens, 1881, 109.
STOLETOW (A.). — Rapport des unités électromagnétiques et électrostatiques, 1881, 193.
TATIN (V.). — Baromètre enregistreur, 1881, 48.
TAYLOR (S.). — Phonéidoscope, 1878, 177.
TEPLOFF. — Étincelles électriques colorées, 1879, 16.
TERQUEM (A.). — Perce-verre, 1875, 61. — Courbes acoustiques, 1876, 102. — Vernis pour écrire sur verre, 1876, 114. — Réalisation des systèmes de Plateau, 1878, 115. — Flamme de la lampe Bunsen, 1880, 189. — Pile Callaud, 1882, 153. —Cathétomètre de M. Dumoulin-Froment, 1883, 178.
TERQUEM (A.) et BOUSSINESQ. — Théorie des battements, 1875, 52.
THOLLON. — Spectroscope à grande dispersion, 1878, 52; 1879, 27. — Taches et protubérances solaires, 1879, 230.
THOMPSON (S.-P.). — Illusion d'optique, 1879, 146. — Travail des machines magnéto ou dynamo-électriques, 1883, 26.
THOMSON Sir (W.). — Accélération dynamique du mouvement de rotation de la Terre, 1881, 200.
TOMMASI (F.). — Moteur thermodynamique, 1876, 65. — Nouveau relais, 1877, 86.
TOMMASI (D.). — Électrolyse de l'eau, 1881, 250.
TRANNIN (H.). — Photométrie des diverses régions du spectre, 1876, 107.
TROUVÉ (G.). — Polyscope, 1878, 2. — Appareils électromédicaux, 1878, 121. — Moteur à force constante, 1878, 171. — Photophore, 1884, 69. — Lampes de sûreté, 1884, 212.
VASCHY. — Théorie des appareils téléphoniques, 1884, 244.
VINCENT (C.). — Chlorure de méthyle

comme agent frigorifique, 1878, 20.
VIOLLE (J.). — Température du Soleil, 1876, 92. — Radiation de l'argent, 1883, 129. — Étalon absolu de la lumière, 1884, 141. — Unité de lumière de Siemens, 1885, 64.
WAHA (DE). — Expériences d'électricité, 1877, 15.
WOLF (C.). — Étalons de poids et de mesures, 1882, 27.
WROBLEWSKI (S. DE). — Solubilité de l'acide carbonique; hydrate de CO^2, 1882, 142.
YVON (P.). — Sons musicaux produits au moyen des courants, 1878, 42.

FIN DE LA TABLE PAR NOMS D'AUTEURS.

TABLE ANALYTIQUE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS LES ANNÉES 1873 A 1885.

Mécanique et Pesanteur.

ANNÉE 1873. — *Gernez*. Expériences de capillarité, 57. — *Bontemps*. Télégraphie pneumatique, 80.

ANNÉE 1874. — *Marey*. Chronographe, 4; vol de l'oiseau, 29. — *Cornu*. Levier à réflexion, 85.

ANNÉE 1875. — *Deleuil*. Balance, 10. — *Moreau*. Vessie natatoire, 19. Canal de sûreté des poissons, 90. — *Marey*. Ondes liquides dans les tubes élastiques, 95. — *Penaud*. Appareils de vol mécanique, 105.

ANNÉE 1876. — *Caspari*. Isochronisme et spiraux de chronomètres, 22. — *Marey*. Loch, 17. — *Cailletet*. Manomètre, 37. — *Terquem*. Vernis pour écriture sur verre, 114.

ANNÉE 1877. — *Romilly* (*de*). Jet d'air lancé dans l'eau, 2. Expériences de capillarité, 5. Ébullition sur un tissu à larges mailles, 6. *Marey*. Dromographe, 109.

ANNÉE 1878. — *Terquem*. Réalisation des systèmes de plateau, 115.

ANNÉE 1879. — *Cailletet*. Compressibilité des gaz, 82. — *Sebert*. Accélérographe de M. Deprez, 107. — *Bjerknes*. Phénomènes hydro-électriques, 189.

ANNÉE 1880. — *Schwedoff*. Observations sur la théorie de M. Bjerknes, 16. — *Robin*. Systèmes articulés, 164. — *Cailletet*. Compressibilité des mélanges gazeux, 27. — *Carpentier*. Frein funiculaire, 116.

ANNÉE 1881. — *Tatin*. Baromètre enregistreur, 48. — *Sire*. Dévioscope, 76. — *Melsens*. Passage de projectiles, 218. — *Popp*. Horloges pneumatiques, 93. — *Romilly* (*de*). Appareils pneumatiques, 93. — *Neyreneuf*. Niveau à gaz. — *Cailletet*. Pompe à comprimer les gaz, 69. — *Wolf*. Étalon de poids et de mesures, 27. — *Renard*. Pneumodensimètre, 232.

ANNÉE 1882. — *Crova*. Gyroscope magnétique, 76. — *Goulier*. Calibreur des tubes de baromètres, 157.

ANNÉE 1883. — *Neyreneuf*. Bec à flamme intermittente, 67. — *Mascart*. Baromètre à gravité, 135. — *Terquem*. Cathétomètre de M. Dumoulin-Froment, 178.

ANNÉE 1884. — *Dumoulin-Froment*. Pantographe vertical, 75. — *Bobileff*. Figures gyroscopiques, 134.

ANNÉE 1885. — *Romilly* (*de*). Appareil à faire le vide, 94.

Chaleur.

ANNÉE 1873. — *Gernez*. Rôle des gaz dans l'ébullition, 8. Surfusion et sursaturation, 88.

ANNÉE 1875. — *Gernez*. Décomposition de certains corps explosibles, 29. — *Neyreneuf*. Combustion de mélanges détonants, 71.

ANNÉE 1876. — *Tommasi*. Moteur thermodynamique, 65. — *Jannettaz*. Propagation de la chaleur dans les corps cristallisés, 53. Conductibilité et élasticité du gypse, 121. — *Violle*. Température du Soleil, 92. — *Grosseteste*. Dilatation d'un liquide, 156. — *Gernez*. Solidification du soufre, 153. Production des deux variétés de soufre, 162.

ANNÉE 1877. — *Jannettaz*. Propagation de la chaleur dans les cristaux, 72. — *Gernez*. Solutions sursaturées concentrées sous l'influence d'une action mécanique, 117. — *Brillouin*. Liquéfaction des gaz, 143.

ANNÉE 1878. — *Vincent*. Chlorure de méthyle comme agent frigorifique, 20. — *Deprez*. Foyers calorifiques du Dr Paquelin, 44. Travail de la vapeur, 128. — *Mouton*. Rayons obscurs polarisés, 75. — *Gernez*. Ébullition des liquides superposés 90. Décomposition des liquides explosifs, 185. — *Maumené*. Détermination des chimicalories, 148. — *Berthelot*. Chaleur dégagée par le mélange d'acide sulfurique et d'eau, 153.

ANNÉE 1879. — *Benoît*. Régulateur de température, 6.

ANNÉE 1880. — *Terquem*. Lampe Bunsen, 189.

ANNÉE 1881. — *Mallard*. Mélanges gazeux explosifs, 268. — *Angot*. Psychromètre, 262. — *Thomson* (*Sir W.*). Accélération thermodynamique du mouvement de rotation de la Terre, 200.

ANNÉE 1882. — *Michelson*. Thermomètre sensible, 66. — *Hautefeuille* et *Chapuis*. Liquéfaction de l'ozone, 128. — *Wroblewski* (*de*). Solubilité de l'acide carbonique, hydrate de CO^2, 142.

ANNÉE 1883. — *Gernez*. Solidification des corps surfondus, 38. — *Violle*. Radiation de l'argent, 129.

ANNÉE 1884. — *Gernez*. Nouvelle espèce de soufre, 14. Surchauffe cristalline de soufre, 79. — *Mallard*. Dimorphisme de la boracite, 60. — *Cornu*. Couronne solaire, 199. — *Cailletet*. Acide carbonique solide, 268.

ANNÉE 1885. — *Mallard*. Dimorphisme de l'iodure d'argent, 18. — *Gernez*. Vitesse de transformation du soufre, 78. — *Cailletet*. Liquéfaction de l'oxygène, 71. — *Sire*. Hygromètre à condensation, 150. — *Godard*. Diffusion de la chaleur, 195. — *Gréhant*. Appareil de MM. Regnault et Reiset pour la respiration, 26. — *Gréhant* et *Quinquaud*. — Pression dans les vaisseaux sanguins, 42.

Acoustique.

ANNÉE 1873. — *Bourget*. Expériences de Pinaud, 35. — *Bourbouze*. Méthode de Lissajous appliquée aux tuyaux, 90.

ANNÉE 1874. — *Coulier*. Examen des cordes des instruments à archets, 27. — *Melsens*. Note historique sur l'inscription des vibrations, 47.

ANNÉE 1875. — *Terquem* et *Boussinesq*. Théorie et battements, 52.

ANNÉE 1876. — *Mercadier*. Lois des mouvements vibratoires des diapasons, 41. — *Terquem*. Appareil des courbes acoustiques, 102.

ANNÉE 1877. — *Cavaillé-Coll*. Résonnance des salles de réunion, 13.

ANNÉE 1878. — *Niaudet*. Phonographe de M. Edison, 47. — *Swedoff*. Appareil pour l'étude des mouvements vibratoires des cordes, 144.—*Duboscq* (*A.*). Électro-diapason, 145. — *Barlow*. Logographe, 175. — *Taylor*. Phonéidoscope, 171.

ANNÉE 1879. — *Gariel*. Machine parlante de M. Faber, 99. — *Saint-Loup*. Phonographe à plateau, 172. — *Mercadier*. Éléments d'un mouvement vibratoire, 211.

ANNÉE 1880. — *Lechat*. Vibrations à la surface d'un liquide, 83.

ANNÉE 1884. — *Mercadier*. Vibrations transversales des verges élastiques, 163.

ANNÉE 1885. — *Mercadier*. Vibrations des plaques circulaires, 77.

Électricité et Magnétisme.

ANNÉE 1873. — *Cazin*. Magnétisme d'un aimant, 23. Étincelles électriques composées, 43. — *Mascart*. Régulateur des courants électriques, 59. Thermomètre électrique, 82. — *Guillemin*. Augmentation de l'étincelle d'induction, 28. — *Neyreneuf*. Différence d'effets des fluides positifs et négatifs, 30. — *Caspari*. Déviations des boussoles, 69.

ANNÉE 1874. — *Meyer*. Transmissions multiples, 35. — *Lippmann*. Expériences électrocapillaires, 53. — *Clamond*. Pile thermo-électrique, 56. — *Deprez*. Étincelle d'induction et électro-aimants, 93. — *Bichat*. Transformation de l'électricité, 97.

ANNÉE 1875. — *Jamin*. Armatures à des aimants tout formés, 12. — Aimantation, 22. Couches aimantées dans l'acier, 47. Singulier cas d'aimantation, 163. — *Ducretet*. Rhéotome liquide, 17. — *Deleuil*. Électro-aimant pour purifier les pâtes de porcelaine, 28. — *Lartigue*. Électro-aimant de M. Hughes, 41. — *Terquem*. Perce-verre, 61. — *Camacho*. Électro-aimant, 74, 102. — *Bouty*. Magnétisme, 83. — *Becquerel* (*H.*). Action du magnétisme sur l'étincelle d'induction, 89. — *Govi*. Induction électrostatique, 92. — *Cazin*. Observations magnétiques faites à l'île Saint-Paul, 123. — *Duter*. Distribution du magnétisme, 129.

ANNÉE 1876. — *Duboscq*. Galvanomètre de projection, 9. — *Chautard*. Spectre des gaz raréfiés, 26. — *Becquerel* (*H.*). Polarisation rotatoire magnétique, 70. — *Jamin*. Distribution dans un aimant, 82. — *Bouty*. Contact d'épreuve, 87. — *Moncel* (*du*). Polarisation électrique des minéraux, 122. — *Égoroff*. Électro-actinomètre différentiel, 158. — *Lippmann*. Polarisation des électrodes, 166. — *Marié-Davy*. Magnétisme terrestre, 172. — *Jablochkoff*. Lampe électrique, 182. — *Mouton*. Phénomènes d'induction, 185.

ANNÉE 1877. — *Marey*. Décharges de la torpille, 17. — *Waha* (*de*). Expériences

d'électricité, 15. — *Jablochkoff*. Divisibilité de la lumière électrique, 78. — *Benoit* (*R.*). Électromètre Thomson, 25. — *Tommasi*. Nouveau relais, 86. — *Reynier*. Lampe électrique, 95. — *Niaudet*. Pile de M. Camacho, 94. — *Rolland*. Résistance intérieure des éléments thermo-électriques, 84. — *Niaudet*. Téléphones, 110.

Année 1878. — *Trouvé*. Polyscope, 2. Appareils électromédicaux, 121. — *Jablochkoff*. Canalisation des courants électriques, 16. — *Almeida* (*d'*). Paratonnerres Melsens, 9. — *Breguet* (*A.*). Téléphone à courant de pile. 13. Téléphones Bell à ficelles, 34. Téléphone à mercure, 40. Théorie de la machine de Gramme, 158. Appareils de rotation électromagnétique, 180. — *Yvon*. Sons produits au moyen des courants, 42. — *Bertin*. Rotation électromagnétique des liquides, 64. — *Cadiat*. Transmission de la force, 70. — *Gaiffe*. Galvanomètre de force électromotrice, 86. — *Mascart*. Supports isolants, 88. — *Reynier*. Lampe électrique, 95. — *Moncel* (*du*). Microphone de Hughes, 101. — *Niaudet*. Pile thermo-électrique de M. Noé, 155. — *Lippmann*. Propriétés dépolarisantes des dissolutions métalliques, 161. — *Righi*. Téléphone, 168. — *Duter*. Phénomène d'électricité statique, 198. — *Bourseul*. Électrophone, 201. — *Aymonnet*. Graduation du galvanomètre, 201.

Année 1879. — *Almeida* (*d'*). Groupements et actions moléculaires, 9. — *Teploff*. Étincelles colorées, 16. — *Deprez*. Indicateur électrique des pressions, 20. — *Marey*. Poissons électriques, 32. — *Niaudet*. Téléphone Gower, 48. — *Duter*. Phénomènes d'électricité statique, 51. — *Guerout*. Électroscope, 80. — *Chardin* et *Prayer*. Sonde microphonique, 89. — *Pellet*. Crayon voltaïque, 89. — *Méritens* (*de*). Machines magnéto-électriques, 92. — *Becquerel* (*H.*). Pouvoir rotatoire magnétique des gaz, 94. Polarisation atmosphérique, 235. — *Rosetti*. Température de l'arc voltaïque, 103. — *Bouty*. Électrolyse, 126. — *Kœnig*. Vibrations de deux téléphones associés, 149. — *Reynier*. Lampe à incandescence, 153. — *Fontaine*. Éclairage électrique, 157. — *Lacoine*. Rayon d'action des paratonnerres, 162. — *Gernez*. Distillation sous l'influence de l'électricité, 176. — *Mascart*. Inscription des phénomènes météorologiques, 182. — *Bjerknes*. Phénomènes hydro-électriques, 189.

Année 1880. — *Bouty*. Tubes de M. Crookes, 7. Force électromotrice thermo-électrique, 96. Phénomènes de Peltier, 101. — *Pellat*. Mesure des forces électromotrices, 18. Métaux en contact, 176. — *Deprez*. Rendement des moteurs, 35. Synchronisme électrique, 48. — *Niaudet*. Galvanomètre Deprez, 39. — *Debrun*. Électromètre capillaire, 63. — *Bertin*. Balance de Hughes, 68. — *Ducretet*. Boussole de Pouillet, 78. — *Gariel*. Explorateur Trouvé, 79. Appareil Trouvé pour l'examen des cavités, 80. — *Righi*. Polarité rémanente de l'acier, 114. — *Reynier*. Pile voltaïque, 140. — *Joubert*. Courants alternatifs et force électromotrice de l'arc, 146. Théorie des machines, 167. — *Breguet* (*A.*). Photophone, 153. — *Mercadier*. Radiophonie, 184. — *Blondlot*. Propriétés du sélénium, 196.

Année 1881. — *Blondlot*. Capacité de polarisation, 28. — *Lippmann*. Propriétés optiques d'une lame polarisée, 32. Principe de la conservation, 149. Détermination de l'ohm, 309. — *Deprez*. Interrupteur pour les bobines, 34. — *Mercadier*. Radiophonie, 38, 122. Chronographe de M. A. Duboscq, 163. — *Mascart*. Enregistreur de l'électricité atmosphérique et du magnétisme, 66. — *Bouty*. Contraction des dépôts galvaniques, 82. — *Reynier*. Pile secondaire de M. Faure, 102. Rendement des piles secondaires, 104. — *Spottiswoode*. Machine de M. Méritens, 109. — *Pellat*. Courants téléphoniques, 143. — *Hospitalier*. Chargement des piles secon-

daires, 190. — *Stoletow*. Détermination du rapport des unités, 193. — *Mach*. Ondes électriques, 210. — *Aymonnet*. Pile à un seul liquide, 229. — *Lartigue*. Réseau téléphonique de Paris, 243. — *Tommasi* (*D.*). Électrolyse de l'eau, 250. — *Shoolbred*. Rendement des machines dynamos, 225. Éclairage, 258. — *Gariel*. Formule des piles, 282. — *Guébhard*. Figures électrochimiques, 292.

Année 1882. — *Boudet de Pâris*. Pont différentiel à induction, 11. — *Baille*. Différences de potentiel et distances explosives, 16. — *Curie*. Phénomènes des cristaux hémièdres, 20. — *Mascart*. Équivalent électrochimique de l'eau, 43. Perturbation magnétique, 126. — *Pellat*. Influence d'un métal sur un autre à distance, 61. — *Bouty*. Polarisation et électrodes et conductibilité et liquides, 38. — *Crova*. Commutateur, 117. — *Lippmann*. Détermination de l'ohm, 121-250. Couches doubles, 251. — *Terquem*. Pile Callaud, 153. — *Carpentier*. Mélographe répétiteur, 161. — *Guébhard*. Figuration électrochimique, 182. — *Arsonval* (*d'*). Recherches sur le téléphone, 194. — *Cabanellas*. Transport de l'énergie, 204.

Année 1883. — *Thompson*. Rendement d'un électromoteur, 26. — *Pellat*. Couches doubles, 30. — *Moser*. Renforcement des courants téléphoniques, 54. — *Foussereau*. Résistance du verre, 86. — *Hospitalier*. Piles au bichromate de M. Trouvé, 99. Limites du transport de la force, 110. — *Cabanellas*. Limites du transport de la force, 119. — *Reynier*. Pile étalon, 186; Force électromotrice des couples à un seul électrolyte, 190. — *Blavier*. Courants telluriques, 201.

Année 1884. — *Bouty*. Conductibilité et dissolutions salines, 52. Transport des *ions*, 112. — *Lippmann*. Force électromotrice du zinc amalgamé, 69. Galvanomètre et électrodynamomètre à mesure, 157. — *Reynier*. Théorie des accumulateurs, 85. — *Chaperon*. Polarisation des métaux oxydables, 89. — *Guébhard*. Force électromotrice des dépôts électrolytiques, 101. — *Mascart, de Nerville, Benoît*. Détermination de l'ohm, 123. — *Cabanellas*. Théorie des dynamos, 173. — *Pellat*. Électrisation des nuages orageux, 181. — *Leduc*. Phénomène de Hall, 189. — *Foussereau*. Résistance des substances isolantes, 212. — *Vaschy*. Théorie et appareils téléphoniques, 244. — *Benoît*. Étalons prototypes de l'ohm, 255.

Année 1885. — *Baille*. Détermination de l'ohm, 12. — *Mascart*. Remarques, 13. *Colson*. Téléphone magnétique, 15. — *Barbier*. Téléphone et microphone Ochorowicz, 16. — *Lippmann*. Entretien électrique des diapasons, 24. — *Pellat*. Force électromotrice de combustion; potentiel de l'air, 27. — *Reynier*. Foisonnement du plomb, 43. Protection des zincs, 141. — *Boudet de Pâris*. Unification des excitations électriques, 60. — *D'Arsonval*. Excitation électrique, 61. — *Mendelssohn*. Courant nerveux axial, 90. — *Clémandot*. Troupe des aimants, 62. — *Cailletet* et *Bouty*. Conductibilité et métaux aux basses températures, 97. — *Mascart*. Théorie de la machine Gramme, 105. — *Becquerel* (*H.*). Pouvoir rotatoire magnétique en unités absolues, 117. — *Lippmann*. Potentiel magnétique d'un système de bobines, 131. — *Cabanellas*. Déficit des dynamos, 92. — *Potier*. Sur la théorie de la machine de Gramme, 93. — *Hospitalier*. Mesure des machines à courants redressés, 113. — *Sebert*. Sensibilité des amorces, 142. — *Blavier*. Influence des orages sur les lignes souterraines, 183. — *Foussereau*. Mesure des résistances liquides par les courants alternatifs, 157. Résistance de l'alcool, 175. — *Hillairet*. Machine à influence de M. Wimshurst, 163. — *Mercadier*. Radiophones, 170. — *Rechniewski*. Machines dynamos, 197.

Optique.

Année 1873. — *Cornu.* Détermination de la vitesse de la lumière, 16-106. — *Champion, Pellet* et *Grenier.* Spectrométrie; spectronatromètre, 49. — *Laurent.* Appareil pour la réfraction conique, 84. — *Mascart.* Spectroscope de Ladd, 93.

Année 1874. — *Laurent.* Saccharimètre, 7. Lumière monochromatique, 46. — *Cornu.* Transformation de l'achromatisme optique des objectifs ou achromatisme chimique, 16. — *Mascart.* Trempe des verres, 23. — *Jungfleisch.* Production artificielle des matières organiques douées du pouvoir rotatoire, 42. — *Bertin.* Appareil J. Duboscq pour projeter les expériences de polarisation, 62. — *Boudréaux.* Projection des raies des métaux et leur renversement, 101.

Année 1875. — *Gariel.* Appareils schémas pour l'optique élémentaire, 2. — *Mascart.* Composition des couleurs, 7. — *Mouton.* Polarisation elliptique, 32. — *Abria.* Double réflexion intérieure dans les cristaux uniaxes, 64. — *Janssen.* Mirage en mer, 118. — *Delachanal* et *Mermet.* Tube spectro-électrique, 119. — *Nodot.* Cannelures de MM. Fizeau et Foucault, 69. Réfraction conique, 133.

Année 1876. — *Duboscq* (*J.*). Appareil pour la projection des corps placés horizontalement, 5. Galvanomètre à projection, 9. — *Le Blanc.* Essai du pouvoir éclairant du gaz à Paris, 11. — *Chautard.* Raies de la chlorophylle, 31. — *Trannin.* Mesures photométriques des différentes régions du spectre, 107. — *Lecoq de Boisbaudran.* Propriétés du gallium, 117-119. — *André.* Diffraction dans les instruments d'optique, 130; Phénomène de la goutte noire, 206. — *Govi.* Nouveaux prismes réflecteurs, 147. — *Egoroff.* Électro-actinomètre différentiel, 158. — *Lippmann.* Radiomètre de Crookes, 175. — *Gariel.* Phénakisticope de projection, 201.

Année 1877. — *Duboscq* (*J.*). Persistance des impressions sur la rétine, 10. — *Gariel.* Abaque des lentilles, 21. — *Becquerel* (*E.*). Spectre infra-rouge observé au moyen de la phosphorescence, 31. — *Javal.* Appareil pour déterminer l'astigmatisme, 40. — *Bertin* et *Garbe.* — Cause du mouvement dans le radiomètre, 46. — *Gouy.* Spectres des métaux à la base des flammes, 52. — *Cornu.* Éléments principaux d'un système optique, 53. — *Nodot.* Microscope polarisant, 69. — *Laurent.* Lanterne de projection, 80. — *Cazin.* Spectre de l'étincelle, 89. — *Angot.* Photographie, 101. — *Rosenstiehl.* Disques rotatifs pour l'étude des sensations lumineuses colorées, 120.

Année 1878. — *Hugo.* Nombre des granulations d'après une photographie solaire, 19. — *Cornu.* Spectre ultra-violet, 24. — *Thollon.* Spectroscope, 52. — *Mouton.* Réflexion métallique des rayons obscurs polarisés, 75. — *Dufet.* Indices de réfraction des mélanges de sels isomorphes, 112. — *Pellat.* Synthèse des couleurs composées, 189. Théorie de la réflexion, 189. — *Joubert.* Pouvoir rotatoire du quartz et sa variation avec la température, 204. — *Gernez.* Pouvoir rotatoire du quartz à diverses températures, 213.

Année 1879. — *Thollon.* Spectroscope à grande dispersion, 27. Protubérances solaires, 230. — *Cros.* Photographie des couleurs, 35. Influence des lumières colorées sur le bromure d'argent, 78. — *Cornu.* Spectroscope pour les radiations ultra-violettes, 39. — *Bertin.* Houppes des cristaux polychroïques, 62. Appareil redresseur de M. J. Duboscq, 73. — *Becquerel* (*H.*). Pouvoir rotatoire magnétique des gaz, 94. Polarisation atmosphérique, 235. — *Gaumet.* Télémètre, 120. Campylomètre, 173. — *Thompson.* Illusion d'optique, 146. — *Javal.* Illusion d'optique, 146.

— *Lamansky*. Loi de Stokes, 167, — *Mouton*. Longueur d'onde des rayons calorifiques obscurs, 199. — *Gouy*. Recherches photométriques sur les flammes colorées, 208. — *Guébhard*. Anneaux colorés, 227.

Année 1880. — *Mouton*. Longueurs d'ondulation des radiations infra-rouges, 29. — *Gariel*. Appareil pour la démonstration de l'optique élémentaire, 43. Lentille du Dr Cusco, 57. — *Napoli*. Photomètre, 53. — *Crova*. Mesures spectrométriques des hautes températures, 65. — *Bertin*. Pinces à tourmaline, 104. — *Bertin* et *Duboscq*. Miroirs magiques, 108. — *Cornu*. Absorption atmosphérique des radiations ultra-violettes, 119. — *Gouy*. Polarisation rotatoire et hypothèse de Fresuel, 133. — *Javal*. Mesure de l'astigmatisme, 138. — *Dufet*. Propriétés optiques des mélanges de sels isomorphes, 161.

Année 1881. — *Lippmann*. Propriétés optiques d'une lame polarisée, 32. — *Franck*. Procédé pour exécuter les figures pour les projections, 45. Inscription des courbes dans la lanterne à projection, 47. — *Cornu*. Photométrie, 50. Double réfraction circulaire, 224. — *Javal*. Rayon de courbure de la cornée, 59. — *Laurent*. Miroirs magiques en verre, 131. Appareil pour mettre en projection les plans de polarisation, 278. — *Gillet de Grandmont*. Sensibilité de la rétine aux impressions lumineuses colorées, 146. — *Rosenstiehl*. Distance angulaire des couleurs, 166. — *Dufet*. Variations des indices de réfraction du gypse avec la température, 236.

Année 1882. — *Cornu*. Achromatisme dans les phénomènes d'interférence, 32. Spectroscope à grande dispersion, 165. Raies telluriques et métalliques, 241. — *Janssen*. Photographie de la comète *b* (1881), 53. — *Govi*. Appareil pour montrer le sens de la rotation du plan de polarisation, 75. — *Nachet*. Chambre claire, 101. — *Rosenstiehl*. Intensité relative des couleurs, 103. — *Landolt*. Télémètre, 111. — *Chappuis*. Spectres d'absorption de l'ozone, 130. — *Laurent*. Polarimètre à lumière ordinaire, 146, — *Chardonnet* (*de*). Transparence actinique, 170. — *Javal*. L'optique de l'œil, 180. — *Mascart*. Réseaux métalliques de M. Rowland, 232.

Année 1883. — *Rosenstiehl*. Couleurs complémentaires, 8. — *Macé de Lépinay* et *W. Nicati*. Comparaison photométrique des sources colorées, 11. — *Cros* et *Vergeraud*. Papier positif direct pour photographie, 37. — *Bertin*. Franges des lames cristallisées, 43. — *Garbe*. Spectroscope à fente inclinée, 59. — *Laurent*. Appareil pour contrôler les surfaces planes, 77. — *Dufet*. Indices de réfraction de l'eau et du quartz sous l'influence de la température, 104. — *Guébhard*. Puissance des appareils dioptriques, 122. — *Violle*. Radiation de l'argent, 129. — *Monoyer*. Systèmes dioptriques centrés, 148. — *Chappuis* et *Rivière*. Indices de réfraction des gaz comprimés, 193.

Année 1884. — *Cornu*. Groupe de raies telluriques (α), 41. Couronne solaire, 199. — *Duboscq* (*J.*). Persistance des impressions sur la rétine, 65. — *Violle*. Étalon absolu de lumière, 141. — *Dufet*. Influence de la température sur les indices de réfraction du quartz, 150. — *Parinaud*. Intensités lumineuses des couleurs spectrales, 206.

Année 1885. — *Cornu*. Surface de l'onde, 33. Raies de l'hydrogène et des métaux, 182. Tubes à hydrogène, 190. — *Laurent*. Appareil pour contrôler les surfaces courbes, 52. — *Violle*. Unité de lumière de Siemens, 64. — *Mercadier*. Appareil de projection de Th. et A. Duboscq, 77. — *Cazes*. Épreuves stéréoscopiques, 115. — *Becquerel* (*H.*). Pouvoir rotatoire magnétique en unités absolues, 117. — *Dufet*. Loi de Gladstone, 133. — *Dybowski*. Appareil pour le tracé des caustiques, 195.

Météorologie.

ANNÉE 1875. — *Marié-Davy*. Météorologie appliquée, 114.

ANNÉE 1877. — *Marié-Davy*. Évaporomètre, 98.

ANNÉE 1878. — *Alluard*. Hygromètre à condensation, 98. — *Marié-Davy*. Enregistreurs, 132.

ANNÉE 1879. — *Mascart*. Inscription des phénomènes météorologiques, 182.

ANNÉE 1881. — *Angot*. Instruments enregistreurs de M. Richard, 71. Psychromètre, 262. — *Schwedoff*. Forme et structure des grêlons, 112.

ANNÉE 1883. — *Crova*. Hygromètre à condensation intérieure, 69.

ANNÉE 1885. — *Sire*. Hygromètre à condensation, 150.

FIN DE LA TABLE ANALYTIQUE.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

LISTE DES MEMBRES.

ANNÉE 1886.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

44, RUE DE RENNES, 44.

(1886.)

BUREAU.

MM. SEBERT, *Président.*
WOLF, *Vice-Président.*
JOUBERT, *Secrétaire général.*
DE NERVILLE, *Secrétaire.*
POLLARD, *Vice-Secrétaire.*
MAURAT, *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :		*Membres non résidants :*	
MM. DUFET.	1884.	MM. BLONDLOT (Nancy).	1884.
MERCADIER.		CAILLETET (Châtillon-s.-Seine).	
VIOLLE.		DUFOUR (Lausanne).	
CAEL.		TACCHINI (Rome).	
ANGOT.	1885.	WARREN DE LA RUE (Londres).	1885.
BENOIT (René).		LEMSTRÖM (Helsingfors).	
MALLARD.		MOITESSIER (Montpellier).	
WEYHER.		NEYRENEUF (Caen).	
BAILLE.	1886.	BRILLOUIN (Toulouse).	1886.
BIENAYMÉ.		DE CHARDONNET (Besançon).	
FRIEDEL.		LERMANTOFF (Saint-Pétersbourg).	
PELLAT.		ROUSSEAU (Bruxelles).	

ANCIENS PRÉSIDENTS.

1873.	MM.	FIZEAU.
1874.		BERTIN.
1875.		JAMIN.
1876.		QUET.
1877.		BECQUEREL (Ed.).
1878.		BLAVIER.
1879.		BERTHELOT.
1880.		MASCART.
1881.		CORNU.
1882.		GERNEZ.
1883.		JANSSEN.
1884.		POTIER.
1885.		MAREY.

MEMBRES HONORAIRES (1).

MM. **BROCH** (**O.-J.**), Professeur à l'Université de Christiania.
FIZEAU (**A.-H.-L.**), Membre de l'Institut.
JOULE (**J.-P.**), de Manchester.
STOKES (**G.-G.**), Professeur à l'Université de Cambridge.
Sir **WILLIAM THOMSON**, F.R.S., Professeur à l'Université de Glasgow.
BECQUEREL (**Ed.**), Membre de l'Institut.
EDLUND, Professeur de Physique à l'Académie Royale des Sciences de Stockholm.
BELL (**Alex.-Graham**), de Boston.

MEMBRES A VIE (2).

PUYFONTAINE (COMTE DE), 34, avenue Friedland.
* D'ALMEIDA, Inspecteur général de l'Instruction publique, Secrétaire général de la Société.
WARREN DE LA RUE, Correspondant de l'Institut, 7, Portland place, Londres, W.
BERTHELOT, Sénateur, Membre de l'Institut, 3, rue Mazarine.
MASCART, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 60, rue de Grenelle.

---

(1) *Membres honoraires décédés :*

MM.	A. BECQUEREL.	1874-78.
	BILLET.	1876-82.
	V. REGNAULT.	1876-78.
	SECCHI.	1876-78.
	JAMIN.	1882-86.

EXTRAIT DES STATUTS, Art. IV. — Le titre de Membre honoraire est conféré comme un hommage et une distinction particulière à des physiciens éminents de la France et de l'étranger.

Les Membres honoraires ont voix délibérative dans les séances de la Société et du Conseil. Ils sont nommés par la Société à la majorité des voix, sur la présentation du Conseil.

Il ne peut en être nommé plus de deux chaque année.

Leur nombre est de dix au plus.

(2) Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs ou quatre versements de 50 francs pendant quatre années consécutives. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées en valeurs garanties par l'État et leur revenu seul peut être employé aux besoins de la Société. (STATUTS, Art. III, dernier paragraphe.)

(*) Membres décédés.

MM. Pérot, Dessinateur et Graveur, 117, boulevard de Créteil, Saint-Maur-les-Fossés.

* Niaudet, Ingénieur civil.

Salet, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 120, boul. Saint-Germain.

* Spottiswoode (W.), Président de la Société royale de Londres.

* Jamin, Membre de l'Institut.

Gernez, Maître de conférences à l'École Normale Supérieure, 17, rue de Médicis.

Maurat, Professeur au Lycée Saint-Louis, 31, boulevard de Port-Royal.

Duboscq (Jules), Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.

Tuleu, Ingénieur, 17, rue Visconti.

Fontaine (Hippolyte), 15, rue Drouot.

Duclos, Inspecteur primaire à Muret.

Blavier, Inspecteur général des Télégraphes, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie, 7, rue Chardin.

Hugo (Comte Léopold), 14, rue des Saints-Pères.

Bischoffsheim (Raphaël-Louis), député, 3, rue Taitbout.

Poussin (Alexandre), Ingénieur, à Elbeuf.

Ollivier (A.), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

Fernet, Inspecteur général de l'Instruction publique, 79, rue Claude-Bernard.

Bardy, Directeur du Laboratoire central des Contributions indirectes, 26, rue du Général-Foy.

Angot, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 82, rue de Grenelle.

Alvergniat, Constructeur d'instruments de physique, 10, rue de la Sorbonne.

* Brion, Professeur de physique.

Muirhead (Dr Alexandre F. C. S.), 3, Elm Court, Temple E. C. Londres.

Caspari, Ingénieur hydrographe de la Marine, 28, rue Gay-Lussac.

Blondlot, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Nancy.

Guébhard, Agrégé de Physique de la Faculté de Médecine de Paris. 15, rue Soufflot.

Raffard, Ingénieur, 16, rue Vivienne.

Gauthier-Villars, Libraire-Éditeur, 55, quai des Grands-Augustins.

Bordet (Lucien), ancien élève de l'École Polytechnique, 181, boulevard Saint-Germain.

Lippmann, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 108, boulevard Saint-Germain.

* Sainte-Claire Deville (Henri), Membre de l'Institut.

D'Abbadie, Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.

MM. Teploff, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimirskaïa, 15, Maison Friederichs, Saint-Pétersbourg.

Villiers (Antoine), agrégé à l'École de Pharmacie, 20, avenue de l'Observatoire.

Javal, Député, Directeur du laboratoire d'Ophtalmologie à la Sorbonne 58, rue de Grenelle.

Lemonnier, ancien élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Suffren.

Terquem, Professeur à la Faculté des Sciences, à Lille.

Grosseteste (William), Ingénieur, 11, rue des Tanneurs, Mulhouse.

Potier, Ingénieur des mines, Professeur à l'École Polytechnique, 89, boulevard Saint-Michel.

Martin (Ch.), rue de Bonneval, à Chartres.

* Meyer (Bernard), Ingénieur des Télégraphes.

Gray (Robert Kaye), Ingénieur électricien de l'India Rubber, Gutta and telegraph works C° limited, à Londres.

Rodde (Ferd.), 3, cité Magenta.

Friedel, membre de l'Institut, 9, rue Michelet.

Lespiault, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

Rodde (Léon), rua do Ouvidor, 107 (Rio de Janeiro).

Thollon, à l'Observatoire de Nice.

Gariel (C.-M.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de la Faculté de Médecine, 39, rue Jouffroy.

Baron, Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, 64, rue Madame.

Buchin, 11, rue Roland, à Bordeaux.

Rivière, Professeur au Lycée Saint-Louis, 12, rue de la Sorbonne.

* Moncel (comte du), Membre de l'Institut.

Joubert, Professeur au Collège Rollin, 67, rue Violet.

Cabanellas, Ingénieur, à Nanteuil le Haudoin (Oise).

* Bréguet (Antoine), ancien élève de l'École Polytechnique.

Pellat, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 3, avenue de l'Observatoire.

Dufet, Professeur au Lycée Saint-Louis, 130, boulevard du Montparnasse.

Raynaud, Chef de bureau au Ministère des Postes et des Télégraphes, Répétiteur à l'École Polytechnique, 50, boulevard Saint-Germain.

Leblanc, ancien Élève de l'École Polytechnique, 9, rue Taylor.

Poincaré, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 4, carrefour de l'Odéon.

Pérard (L.), Professeur à l'Université, 101, rue Saint-Esprit, Liège (Belgique).

* Van den Kerchove, Sénateur, Gand (Belgique).

Baille, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.

Carpentier, ancien élève de l'École Polytechnique, constructeur d'instruments de physique, 34, rue du Luxembourg.

Romilly (de), 8, rue de Madrid.

Roger, ancien Chef d'institution, 161, rue Saint-Jacques.

MM. Brillouin, Professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse.

Abria, professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

Dollfus (Eugène), Chimiste fabricant d'indiennes, 32, rue d'Altkirch, à Mulhouse.

Ogier (Jules), Docteur ès Sciences, Chef du laboratoire de Toxicologie, 6, rue de Beaune.

Gotendorf (Silvanus), 39, rue de Clichy.

Duclaux, Professeur à l'Institut agronomique, 15, rue Malebranche.

Kœchlin (Horace), Chimiste, fabricant d'indiennes, à Lœrrach (Baden).

Brewer (fils), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 43, rue Saint-André-des-Arts.

Le Cordier (Paul), Docteur ès Sciences, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger.

Vaschy, Sous-Ingénieur des télégraphes, répétiteur à l'École Polytechnique, 71, avenue de la Bourdonnais.

Palmade, Professeur au lycée de Saint-Etienne.

Godefroy (l'abbé), Professeur de Physique à l'Institution catholique, 1, rue d'Alençon.

Gouloubitzky, Collaborateur de la Société des amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

Lemoine (E.), Ancien élève de l'École Polytechnique, 5, rue Littré.

Foussereau, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 56, boulevard de Port-Royal.

Rigout, Préparateur de Chimie à l'École Nationale des Mines.

Seligmann-Lui, Sous-Inspecteur des Télégraphes, 103, rue de Grenelle.

Cornu, Membre de l'Institut, 9, rue de Grenelle.

Gerboz (P.-C.), Constructeur d'instruments de précision, 52, rue des Écoles.

Bandsept, Ingénieur, 15, chaussée de Wavre, à Bruxelles.

Brisse (Ch.), Répétiteur à l'École Polytechnique, 55, rue de Bécon, à Courbevoie (Seine).

Vautier (Théodore), Chargé des Conférences de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon.

Jénot, Professeur au Collège Rollin, 12, rue Constance.

Godard (Léon), Agrégé de l'Université, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 46, rue des Écoles.

Wallon (E.), Professeur au Lycée Janson de Sailly, 24, rue de Saint-Pétersbourg.

Pupin, Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.

Weiss, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 59, rue Madame.

Lemström (Selim), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

Bouty, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce.

MM. Sebert, Colonel d'Artillerie de Marine, Laboratoire Central de la Marine, 13, rue de la Cerisaie.

Masson (G.), Libraire-Editeur, 120, boulevard Saint-Germain.

Mallard, Ingénieur en Chef des Mines, Professeur de Minéralogie à l'Ecole des Mines, 11, rue de Médicis.

Boitel, Agrégé de l'Université, Professeur d'Electricité à l'Observatoire de Montsouris, 3, rue Soufflot.

Dybowski, Professeur au Lycée Charlemagne, 16, rue Rottembourg, (Bel-Air).

Leduc, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 136, rue d'Assas.

Raymond, Elève-Ingénieur de la Marine, 29, quai de la Tournelle.

Sainte-Claire Deville (Emile), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 85, avenue de Villers.

Touanne (de la), Ingénieur des Télégraphes, 13, rue Soufflot.

Violle, Maître de Conférences à l'Ecole Normale supérieure, 89, boulevard Saint-Michel.

Meslin, Professeur au Lycée de Poitiers, 28, Place d'Armes.

Lyon (Gustave), Ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart.

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABBADIE (d'), Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.

ABDANK-ABAKANOWICZ, Ingénieur, 5, place du Panthéon.

ABOILARD (Louis), Constructeur de lampes à incandescence, 76, avenue de Villiers.

ABRIA, Professeur à la Faculté des Sciences, 15, quai Bacalan, à Bordeaux.

ALBAN FOURNIER (le Dr), à Rambervillers (Vosges).

ALEXANDRE (Henri), Ingén. des Arts et Manufactures, 15, rue Guénégaud.

ALEXÉEFF, Vice-Président de la Section d'Électricité de la Société impériale polytechnique de Russie, à Saint-Pétersbourg (Russie).

ALEXIS (Ferdinand-Marius), Contrôleur du Service technique des télégraphes à Marseille.

ALLUARD, Professeur à la Faculté des Sciences, 22 *bis*, place de Jaude, Clermont-Ferrand.

ALONCLE (Félix), Pharmacien, 57, rue de Turbigo.

ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de Physique, 10, rue de la Sorbonne.

AMAGAT, Professeur à la Faculté Catholique des Sciences, 25, rue du Plat, à Lyon.

ANDRÉ (Ch.), Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

ANGOT, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 82, rue de Grenelle.

ANTHONISSEN (Joseph), 21, rue Hauteville.

ARCHAMBAULT (J.), Professeur en retraite, 9, boulevard du Temple.

ARMAGNAT, Ingénieur, 20, rue Delambre.

ARNOYE, Professeur au Lycée de Montauban.

ARRAGON, Professeur au Lycée de la Guadeloupe.

ARSONVAL (d'), Directeur du Laboratoire de Physique biologique au Collège de France, 28, avenue de l'Observatoire.

ARTHAUD, Chef des travaux histologiques au Laboratoire de Physiologie générale du Muséum, 24, rue Monge.

AUBEL, Membre de la Société Géologique de Belgique, à Liège.

AUBERT, Professeur au Lycée Condorcet, 88, rue du Rocher.

AUBRY (Félix), Principal du Collège de Bône.

AUBRY, Directeur-Ingénieur des télégraphes, à Limoges.

AUGUEZ (Émile), Sous-Directeur des contributions indirectes, 16, rue de Mouy, à Clermont (Oise).

AYLMER (John), Ingénieur, 4, rue de Naples.

AYMONNET, Professeur de Physique, 38, boulevard d'Italie.

BABLON, 42, rue Boulard.

BAGNERIS (Eugène), Professeur agrégé de Physique de la Faculté de Médecine, 25, rue Baron Louis, à Nancy.

MM.

BAILLAUD, Directeur de l'Observatoire de Toulouse.

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.

BAILLY, Professeur au Lycée de Carcassonne.

BANDSEPT, Ingénieur, 15, chaussée de Wavre, à Bruxelles.

BANET-RIVET, Professeur au Lycée de Marseille.

BARBIER, Ingénieur-chimiste, 9, rue Fromentin.

BARBIER (**Paul**), Ingénieur, 5, place du Panthéon.

BARDY, Directeur du laboratoire central de l'Administration des Contributions indirectes, 26, rue du Général-Foy.

BARON, Directeur au Ministère des Postes et Télégraphes, 64, rue Madame.

BARRAU DE MURATEL (**Maurice de**), Membre du Conseil général du Tarn, 51, rue de Varenne.

BARRAUD, 23, rue de Fleurus.

BATCHELOR (**Charles**), Administrateur de la Compagnie Edison, 8, rue Caumartin.

BAUDOT, Inspecteur-Ingénieur des lignes télégraphiques, 53, rue de Rennes.

BEAU (**Henri**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 226, rue Saint-Denis.

BÉCLARD, Doyen de la Faculté de Médecine de Paris.

BÉCORDEL (**H. de**), Receveur principal à Saint-Amand (Cher).

BECQUEREL (**Ed.**), Membre de l'Institut, au Muséum, 57, rue Cuvier.

BECQUEREL (**Henri**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Répétiteur à l'École Polytechnique, 57, rue Cuvier.

BÉDOREZ, Directeur des Études à l'École Monge, 145, boulevard Malesherbes.

BEDOS, Professeur au Lycée, 31, rue Sainte-Lucie, à Carcassonne.

BEGHIN (**Auguste**), Professeur à l'École nationale des Arts industriels, à Roubaix.

BELL (**Alexander-Graham**), 95, Milk Street, Boston, Mass. U. S. A.

BELLATI (**Manfredo**), Professeur de Physique technique à l'École des Ingénieurs, à l'Université de Padoue (Italie).

BELLOT (**Jules**), 28, rue Saint-Lazare.

BENAVENTE Y MONTALVO (**Antonio**), Professeur de Physique, à Rioseco, Province de Valladolid (Espagne).

BENAVIDES (**Francisco da Fonseca**), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).

BENOIT (**René**), Docteur ès sciences, premier adjoint au Bureau international des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, Sèvres.

BERGER (**Georges**), ancien Commissaire général de l'Exposition internationale d'Électricité, 8, rue Legendre.

BERGERON, Ingénieur, 75, rue Saint-Lazare.

BERGON, Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, 56, rue Madame.

BERGONIÉ, Agrégé, Maitre de Conférences de Physique, à la Faculté de Médecine, 29, rue de Persac, à Bordeaux.

BERNARD (**Alfred**), Professeur au Lycée de Périgueux.

BERSON, Professeur au Lycée Charlemagne, 32, rue Monge.

MM.

BERTHELOT, Sénateur, Membre de l'Institut, 3, rue Mazarine.

BERTHOLOMEY, Professeur au Collège, 26, quai Baluze, à Tulle.

BERTRAND, Membre de l'Académie Française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 6, rue de Seine.

BERTRAND (**A.-L.**), Capitaine du Génie attaché au Dépôt des fortifications, 8, rue Saint-Dominique.

BESANÇON (**M.-J.**), Répétiteur à l'École Turgot, 152, boulevard Voltaire.

BESOMBES, Commis principal des télégraphes, 66, rue Savournin, à Marseille.

BEZODIS, Professeur au Lycée Henri IV, 61, rue Claude-Bernard

BICHAT, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy, 1 *bis*, rue des Jardiniers.

BIENAYMÉ, Ingénieur de la marine à Toulon.

BILLON-DAGUERRE (**Armand Di**), 14, rue Deguerry.

BISCHOFFSHEIM (**Raphaël-Louis**), Député, 3, rue Taitbout.

BLAVIER, Inspecteur général des Télégraphes, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie, 7, rue Chardin.

BLONAY (**Roger de**), 23, rue Larochefoucauld.

BLONDLOT, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Nancy.

BOBILEFF, Professeur de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOITEL, Agrégé de l'Université, Professeur d'électricité à l'Observatoire de Montsouris, 3, rue Soufflot.

BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia.

BONIOL, Professeur de Mathématiques, 123, rue de la Pompe.

BONTEMS (**Emile**), Lieutenant-Trésorier au 12e chasseurs, à Lyon.

BONVALOT, Ingénieur, à Dijon, 1, place Saint-Jean.

BORDET (**Lucien**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 181, boulevard Saint-Germain.

BOREL, Docteur en Médecine, à Puy Saint-Martin (Drôme).

BORGMANN, Privat-docent à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOUANT, Professeur au Lycée Charlemagne, 20, rue Monsieur-le-Prince.

BOUCHARD, Sous-Ingénieur des Télégraphes, à Tours.

BOUCHER, Préfet des Études au Collège Chaptal.

BOUDET DE PÂRIS (**Dr M.**), ancien Interne des hôpitaux, 4, rue de l'Isly.

BOUDRÉAUX, Conservateur des collections de Physique à l'École Polytechnique, 2, rue Descartes.

BOULANGER, Capitaine du Génie, Attaché au Dépôt des fortifications, 8, rue Saint-Dominique.

BOULARD, Ingénieur, 13, rue Vavin.

BOURBOUZE, Chef des travaux de Physique à l'École supérieure de Pharmacie, 340, rue Saint-Jacques.

BOURGEOIS, Répétiteur à l'École Polytechnique, 23, quai de la Tournelle.

BOURGET, Recteur de l'Académie de Clermont.

BOURSEUL, Directeur des Postes et Télégraphes, à Cahors.

BOUSQUET, Directeur de l'École normale de Châteauroux.

BOUTAN, Inspecteur général de l'Instruction publique, 4, rue de l'Odéon.

MM.

BOUTET DE MONVEL, Professeur en retraite, 1, rue des Deux-Portes-Saint-Jean.

BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce.

BRACHET, Ingénieur, 2, rue d'Égypte, à Lyon.

BRANLY, Professeur à l'Ecole libre des hautes études scientifiques et littéraires, 42, avenue de Breteuil.

BRANVILLE (**de**), Ingénieur civil, constructeur d'appareils électriques, 15, rue de la Montagne-Sainte-Geneviève.

BREWER fils, Constructeur d'instruments pour les sciences, 43, rue Saint-André-des-Arts.

BRILLOUIN, Professeur à la Faculté des Sciences, 27, rue Raymond IV, à Toulouse,

BRISAC, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie Parisienne, rue du Temple, à Enghien.

BRISSE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 55, rue de Bécon, à Courbevoie.

BROCH (**O.-J.**), Professeur à l'Université de Christiania (Norwège), au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

BROWNE (**H.-V.**), Représentant de la compagnie Direct Spanish Telegraph à Barcelone (Espagne).

BRUNHES, Professeur à la Faculté des Sciences de Dijon.

BRÜNNER, Constructeur d'instruments de précision, 159, rue de Vaugirard.

BUCHIN, 11, rue Rolland, à Bordeaux.

BUGUET, Professeur au Lycée de Moulins.

BUISSON (**Maxime**), Chimiste, rue Saint-Thomas, à Évreux.

CABANELLAS (**G.**), Ingénieur, à Nanteuil-le-Haudoin.

CADIAT, Ingénieur, 24, rue Meslay.

CAEL, Directeur-Ingénieur des Télégraphes, 218, boulevard Saint-Germain.

CAILLETET, Membre de l'Institut, à Châtillon-sur-Seine, et 75, boulevard Saint-Michel.

CAILLOL DE PONCY, Professeur à l'École de Médecine, 8, rue Clapier, à Marseille.

CALMETTES, Professeur au prytanée militaire de la Flèche.

CARAGUEL, Avocat, Directeur du Crédit foncier de France, à Albi, 4, rue Nego-Danos.

CARPENTIER, ancien Élève de l'École Polytechnique, constructeur d'instruments de physique, 34, rue du Luxembourg.

CASALONGA, Ingénieur civil, 15, rue des Halles.

CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 28, rue Gay-Lussac.

CAVAILLÉ-COLL, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.

CAZES, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.

CHABERT (**Léon**), Ingénieur électricien, 2, rue de Lisbonne.

CHABRERIE, Principal du Collège de Treignac (Corrèze).

CHAMAND (**Joseph**), capitaine adjudant-major au 32e rég. d'infanterie, 78, rue Colbert, à Tours.

MM.

CHAMANTOFF (**Nicolas**), Préparateur au cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

CHAMBERT (**Paul**), rue de la Manufacture, à Châteauroux.

CHAPERON (**Georges**), ancien élève de l'Ecole Polytechnique, 28, quai de la Guillotière, à Lyon.

CHAPPUIS, Professeur à l'École centrale, 7, rue Laplanche.

CHAPPUIS (**Pierre**), attaché au Bureau International des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

CHAPUY (**Paul**), Élève Ingénieur des Mines, à l'École Nationale des Mines.

CHARDONNET (**le comte de**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 20, place de l'État-Major, à Besançon.

CHAUSSEGROS, Ingénieur, chef de traction au chemin de fer, à Orléans.

CHAUTARD, Doyen de la Faculté libre des Sciences de Lille.

CHAUVEAU, Professeur de Physique, 17, rue Champollion.

CHAVES (**Antonio Ribeiro**), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil)

CHERVET, Professeur au Lycée Henri IV, 18, rue Nicole.

CHRÉTIEN, Chef de fabrication à la manufacture de caoutchouc de Chamalière (Puy-de-Dôme).

CIVIALE (**A.**), 2, rue de la Tour-des-Dames.

CLAVEAU, Professeur au Lycée de Montluçon.

CLAVERIE, Professeur au Lycée de Vanves, 6, rue Poussin, à Auteuil.

CLÉRAC, Sous-Insp^r des Lignes télégraphiques, 24, rue Bertrand.

COLARDEAU, Professeur au Lycée de Lille.

COLMET D'HUART, Directeur de l'Athénée à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

COLSON, Capitaine du Génie, 66, rue de la Pompe.

COMBES (**A.**), Ancien élève de l'École Polytechnique, 5, rue Vavin.

COMBETTE, Professeur au Lycée Saint-Louis, 63, rue Claude-Bernard.

CORVISY, Professeur au Lycée de Saint-Omer.

CORNU, Membre de l'Institut, 9, rue de Grenelle.

COULIER, Membre du Comité de Santé des armées, 26, rue Gay-Lussac.

COUPIER, à Saint-Denis-Hors, par Amboise.

COURQUIN (**l'abbé**), Professeur au Collège libre de Tourcoing.

COURTOY, Professeur à l'École vétérinaire, 47, rue Bara, à Bruxelles.

COUSTÉ, ancien Directeur de la Manufacture des Tabacs, 9, boulevard de l'Odet à Quimper et 5, Place Saint-François-Xavier.

COUVREUX, Juge au Tribunal de Châtillon-sur-Seine.

CROIX, Professeur au Collège, 36 *bis*, rue de Valenciennes, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).

CROS (**Ch.**), 163, rue de Rennes.

CROVA, Professeur à la Faculté des Sciences, 14, rue du Carré-du-Roi, Montpellier.

CUÉNOD, Ingénieur électricien, 9, boulevard du Théâtre, à Genève.

MM.

CURIE (**Pierre**), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Paris, 2, rue de Saint-Simon.

CUSCO (le Dr), chirurgien à l'Hôtel-Dieu, 79, rue des Petits-Champs.

DAGUENET, Professeur au Lycée, 8, rue Montbauron, à Versailles.

DALMAU, Ingénieur, 9, Rambla del Centro, à Barcelone (Espagne).

DALY, Docteur en médecine, à Angoulême.

DAMBIER, Professeur au Lycée de Pau.

DAMIEN, Professeur à la Faculté des Sciences, à Lille, 49, rue Brûle-Maison.

DANIEL, ancien Professeur à l'École Centrale, à Saint-Mâlo-de-Lalande (Manche).

DAVID (**André**), rue Buisson, à Saint-Étienne.

DAVOINE, Professeur au petit séminaire de Cambrai.

DEBRAY, Membre de l'Institut, 16, rue Vauquelin.

DEDET, Professeur au Lycée d'Albi.

DEFFORGES, Capitaine du Génie, 123, rue de Grenelle.

DELATTRE (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 20, rue Saint-Georges.

DELAURIER, Ingénieur, 77, rue Daguerre.

DELEUIL, Constructeur d'instruments de Physique, 42, rue des Fourneaux.

DELEVEAU, Professeur au Lycée, 39, rue de Lodi, à Marseille.

DEMICHEL, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 24, rue Pavée-au-Marais.

DEPREZ (**Marcel**), Membre de l'Institut, 111, rue de Rennes.

DESCHIENS, Constructeur d'instruments de Physique, 123, boulevard St-Michel.

DESLANDES, ancien Officier de marine, 20, rue Larochefoucauld.

DESLANDRES, ancien Élève de l'École Polytechnique, 34, rue Gay-Lussac.

DESPLATS, Professeur au Lycée Condorcet, 221, faubourg Saint-Honoré.

DESPRATS, Professeur au Collège de Millau.

DEVAUX, Professeur au Lycée de Grenoble.

D'HENRY (**Louis**), 6, boulevard de Port-Royal.

DIDIER, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 9, rue de l'Abbé-de-l'Épée.

DIETRICH (**Ch.**), Dessinateur et graveur, 3, rue Hautefeuille.

DINI, Ingénieur de la Maison Dumoulin-Froment, 49, rue Saint-Placide.

DOLLFUS (**Eugène**), Chimiste, fabricant d'indiennes, 32, rue d'Altkirch, à Mulhouse (Alsace).

DOUCEUR, Directeur des postes et télégraphes, retraité, 42, rue Jouffroy.

DOULIOT, Principal du Collège d'Épinal.

DRINCOURT, Professeur au Collège Rollin, 5, rue de Laval.

DUBOIS, Professeur au Lycée, 31, rue Cosette, à Amiens.

DUBOSCQ (**Jules**), Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.

DUBOSCQ (**Albert**), Constructeur d'instruments de Physique, 11, rue des Fossés-Saint-Jacques.

DUBOSCQ (**Théodore**), Constructeur d'instruments de Physique, 11, rue des Fossés-Saint-Jacques.

MM.

DUCHEMIN, Ingénieur, 25, rue Clapeyron.

DUCLAUX, Professeur à l'Institut agronomique, 15, rue Malebranche.

DUCLOS, Inspecteur primaire à Muret.

DUCOMET, Ingénieur, 20, rue des Petits-Hôtels.

DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue Claude-Bernard.

DUFET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 130, boulevard Montparnasse.

DUFOUR (**Henri**), Professeur de Physique à la Faculté des Sciences, 22, rue Maupas, à Lausanne (Suisse).

DUJARDIN, 89, boulevard du Montparnasse.

DUMARTIN (**Horace**), Ingénieur civil, 28, rue d'Argivillers, à Versailles.

DUMOULIN-FROMENT, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.

DUPRÉ, Inspecteur de l'Académie de Paris, 60, rue des Tournelles.

DUPUY, Ingénieur, 17, rue Condorcet, à Lisieux, et Hôtel de Russie, à Genève.

DUSSY, Professeur au Lycée de Dijon.

DUTER, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 5, rue de Mirbel.

DYBOWSKI, Professeur au Lycée Charlemagne, 16, rue Rottembourg (Bel-Air).

EBEL, Ingénieur des Arts et Manufactures, Chef du Laboratoire de l'Usine Edison, 5, rue du Parc, Ivry-sur-Seine.

EDELBERG, Ingénieur opticien, à Kharkoff (Russie).

EDLUND, Professeur de Physique à l'Académie royale des Sciences de Stockholm (Suède).

EGOROFF (**Nicolas**), Professeur de physique à l'Académie de Médecine de Saint-Pétersbourg (Russie).

EHRHART (**Théophile**), Ex-Pharmacien, rue Docteur Saussier et rue Mariotte, à Dijon.

EICHTHAL (baron **d'**), 42, rue Neuve-des-Mathurins.

ÉLIE, Professeur au Collège, 90, rue de la Pointe, à Abbeville.

ESTRADA (**Francisco**), Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique).

ÉTARD (**Alexandre**), 49, boulevard Voltaire.

FARGUES DE TASCHEREAU, Professeur au Lycée Condorcet, 30, rue des Aubépines, à Bois-Colombes.

FAURE (**Camille**), Ingénieur, à Saint-Brice (Seine-et-Oise).

FAVÉ, Ingénieur hydrographe, 83, rue de l'Université.

FAVARGER, Ingénieur électricien, à Neuchâtel (Suisse).

FAYE, Membre de l'Institut, 2, boulevard d'Enfer.

FERNET, Inspecteur général de l'Instruction publique, 79, rue Claude-Bernard.

FERRAY (**Édouard**), Pharmacien, rue du Grand-Carrefour, à Evreux.

FERRO CARDOSO (**Daniel Pedro**), Ingénieur, 123, boulevard Saint-Germain.

FINK, Préparateur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la ville de Paris, 42, rue Lhomond.

MM.

FIZEAU, Membre de l'Institut, 3, rue de la Vieille-Estrapade.

FLAMARY, Professeur à l'École Normale de Châteauroux.

FLEURY (**H.**), Directeur de l'École préparatoire, 29, rue de Nanterre, à Asnières.

FONTAINE (**Hippolyte**), 22, rue Notre-Dame-de-Lorette.

FONTAINE, Chimiste, 20, rue Monsieur-le-Prince.

FOURTEAU, Professeur au Lycée Janson de Sailly.

FOUSSEREAU, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 56, boulevard de Port-Royal.

FRICKER (**Dr**), 36, rue Notre-Dame de Lorette.

FRIDBLATT (**A.**), Sous-Ingénieur des télégraphes, à Alger.

FRIEDEL, Membre de l'Institut, 9, rue Michelet.

FRON, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 41, rue Madame.

GAIFFE, Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.

GARBAN, Inspecteur d'Académie, à Limoges.

GARBE, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Montpellier.

GARÉ (l'Abbé), Professeur à l'École Saint-Sigisbert, à Nancy.

GARIEL (**C.-M.**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de la Faculté de Médecine, 39, rue Jouffroy.

GARNUCHOT, Professeur au Collège, rue Saint-Barthélemy, à Melun.

GAUBERT, Horloger-Électricien, à Gruissan (Aude).

GAUTHIER-VILLARS, Libraire-Éditeur, ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.

GAVARRET, Inspecteur général de l'enseignement supérieur, Professeur à l'École de Médecine, 73, rue de Grenelle.

GAY, Professeur au Lycée, 36, rue de la Gare, à Lille.

GAY, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 6, rue Mézières.

GAYON, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 56, rue de la Benauge, à La Bastide-Bordeaux.

GENDRON (**Rudolph**), Préparateur à l'École libre des hautes études scientifiques et littéraires, 12, rue Campagne-Première.

GÉRALDY (**Frank**), Ingénieur électricien, 33, rue Saint-Denis, à Asnières.

GÉRARD (**Anatole**), Ingénieur mécanicien, 39, avenue Marceau, à Courbevoie.

GERBOZ (**P. C.**), Constructeur d'instruments de précision, 52, rue des Écoles.

GERNEZ, Maître de conférences à l'École Normale supérieure, 17, rue Médicis.

GHESQUIER (l'Abbé), Professeur au Collège de Roubaix.

GILLET DE GRANDMONT (**Dr**), Secrétaire général de la Société de médecine pratique, 4, rue Halévy.

GIRARDET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 90, rue Claude-Bernard.

GIRAUD, Ingénieur mécanicien, 18, rue de Paris, à Clichy.

GIRAULT, Professeur au Collège Chaptal, 8, rue Claude-Pouillet.

GLASEWSKI (**P.-J -Alexandre**), Commissionnaire en Instruments de Physique, 59, rue de la Butte-Chaumont.

MM.

GODARD (**Léon**), Agrégé de l'Université, Préparateur à la Faculté des Sciences, 46, rue des Écoles.

GODFRIN, Professeur au Lycée de Valenciennes.

GODEFROY (l'Abbé **L.**), Professeur de Chimie, 1, rue d'Alençon.

GODY (**G.**), Architecte du département des travaux publics, 15, rue du Viaduc, Bruxelles (Belgique).

GOUTY, Ingénieur, 51, Chemin du Roveray, à Genève (Suisse).

GOLAZ, Constr. d'instruments de Physique, 283, rue Saint-Jacques.

GOLOUBITZKY (**Paul**), Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

GOMEZ (**Francisco Lopez**), Professeur à l'Institut de Valladolid (Espagne).

GOSSART (**Fernand**), 15, rue Tronchet.

GOSSART, Professeur au Lycée du Havre.

GOSSE, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.

GOSSIN, Proviseur au Lycée de Lille.

GOTENDORF (**Silvanus**), 39, rue de Clichy.

GOULIER, Colonel du Génie, 6, rue d'Estrées.

GOURÉ DE VILLEMONTÉE, Professeur à l'École normale de Cluny.

GOUY, Professeur suppléant à la Faculté des Sciences, 2, place des Squares, à Lyon.

GOVI, Professeur à l'Université de Naples, 5, via Nuova Pizzofalcone (Italie).

GOWER (**Frédérick-Allen**), Ingénieur, 44, rue François Ier.

GRAMMACINI (**J.**), Receveur-Chef du Poste central des télégraphes, à Paris, 103, rue de Grenelle.

GRAVIER, Ingénieur, 1, rue Karmelicka, à Varsovie (Russie).

GRAY (**Matthew**), Directeur de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.

GRAY (**Robert Kaye**), Ingénieur électricien de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works C°, Silwertown. Essex, à Londres.

GRÉHANT (**Dr**), Aide-naturaliste au Muséum d'Histoire naturelle, 18, rue Flatters.

GRENIER (**Félix**), Sous-Préfet à Dieppe.

GREZEL (**Louis**), Professeur au Collège de Nantua.

GRIPON, Professeur à la Faculté des Sciences, 5, faubourg de Paris, à Rennes.

GRIVEAUX, Professeur au Lycée, 16, rue Montbrillant, à Mont-Plaisir (Lyon).

GROGNOT (**L.**), Chimiste, Essayeur du Commerce, rue du Rourg, à Chantenay-sur-Loire (Maison Chopin) (Loire-Inférieure).

GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, 11, rue des Tanneurs, à Mulhouse.

GUEBHARD, Agrégé de Physique de la Faculté de Médecine de Paris, 15, rue Soufflot.

GUELPA, Principal du Collège de Blidah (Algérie).

GUERBY, Professeur au Collège, à Grasse (Alpes-Maritimes).

MM.

GUÉRIN (**Émile**), Fabricant d'appareils électriques, 5, rue Montmorency.

GUILLAUME, Docteur ès sciences attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil (Sèvres).

GUILLEBON (**de**), Contrôleur de l'exploitation au chemin de fer d'Orléans, 5, rue du Bourg-Neuf, Orléans.

GUNTZ, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy.

HAGENBACH, Professeur à l'Université de Bâle (Suisse).

HANRIOT, Professeur honoraire de Physique de la Faculté des Sciences de Lille, à Joppécourt (Meurthe-et-Moselle).

HARDY (Dr E.), Chef des travaux chimiques de l'Académie de Médecine, 90, rue de Rennes.

HAUCK (**W.-J.**), Constructeur d'instruments de Physique, 20, Kettenbrücken Gasse, à Vienne (Autriche).

HELOUIS, Ingénieur, 17, rue Reine-Henriette, à Colombes.

HEPITÈS (**Stefan**), Ingénieur, Directeur général du Ministère des Domaines à Bucarest (Roumanie).

HESEHUS (**N.**), Privat-docent à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

HILLAIRET (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 9, rue Roquépine.

HOSPITALIER, Ingénieur des arts et manufactures, 6, rue du Bellay.

HOSTEIN, Professeur au Lycée, 37, rue Isabey, Nancy.

HUDELOT, Répétiteur à l'École Centrale, 6, rue Saint-Louis en l'Ile.

HUET, Inspecteur-Ingénieur des télégraphes à Constantine (Algérie).

HUGO (le Comte **Léopold**), 14, rue des Saints-Pères.

HUGON, Ingénieur, 77, rue de Rennes.

HUGONIOT, Capitaine d'Artillerie de la Marine, Répétiteur à l'École Polytechnique, 31, rue de Poissy.

HUGUENY, Prof. honoraire de Faculté, 19, rue des Frères, à Strasbourg.

HURION, Professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble.

HUSSON (**Léon**), Contrôleur du Câble télégraphique à Haïphong (Tonkin).

IMBERT (**Armand**), Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine de Montpellier.

INFREVILLE (**G. d'**), Électricien de la Western Union Telegraph C°, 408 West, 43rd street, à New-York (États-Unis).

ISAMBERT, Professeur à la Faculté des Sciences, boulevard de la Préfecture, à Poitiers.

ITSCHNER, Principal du Collège de Melun.

JABLOCHKOFF, Ingénieur, 128, rue Saint-Denis, à Courbevoie.

JANNETTAZ (**Ed.**), Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 9, rue Linné.

JANNIN, Professeur de Physique en retraite, 10, rue du Jardin national à Albi.

MM.

JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon.

JAVAL, Député, Directeur du Laboratoire d'Optalmologie de la Sorbonne, 58, rue de Grenelle.

JENNESSON, ancien Principal à Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

JÉNOT, Professeur au Collège Rollin, 12, rue Constance.

JEUNET, Professeur au Lycée d'Angoulême.

JOLY, Ferme de Pargny, près Château-Porcien (Ardennes).

JOUBERT, Professeur au Collège Rollin, 67, rue Violet.

JOUBIN, Agrégé-préparateur au Collège de France, 35, rue des Écoles.

JOULE (**J.-P.**), F. R. S., 13, Wardle Road, Sale, Manchester (Angleterre).

JUNGFLEISCH, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 38, rue des Écoles.

JUSSIEU (**F. de**), Imprimeur-Directeur du journal *l'Autunois*, à Autun.

KABATH (**de**), Ingénieur.

KAREIS, Professeur de Physique, à Vienne (Autriche).

KERANGUÉ (**Yves de**), Capitaine adjudant-major au 121e de ligne, à Lyon.

KŒCHLIN (**Horace**), Chimiste, fabricant d'indiennes, à Lœrrach (Baden).

KŒNIG, Constructeur d'instruments d'Acoustique, 27, quai d'Anjou.

KOTCHOUBEY, Président de la Société Impériale Polytechnique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

KOWALSKI, Prof. à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie, 14, rue Ravez, à Bordeaux.

KRETZ, Ingénieur des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.

KROUCHKOLL, Licencié ès Sciences, 17, faubourg Saint-Jacques.

LACOINE (**Émile**), Ingénieur-Électricien, à Constantinople (Turquie).

LAFOREST (Comte **de**), Colonel du 6e de ligne, à Saintes.

LALANCE (l'Abbé), Curé de Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

LALANDE, Libraire, à Brives.

LALANDE (**de**), Ingénieur civil des Mines, ancien élève de l'École Polytechnique, 87, rue de Rennes.

LALEU, Conducteur des Ponts et Chaussées, 12, rue de Ponthierry, à Melun.

LAMANSKY, Professeur à l'Université, 14, rue Mochowaia, à Saint-Pétersbourg (Russie).

LAMON, Constructeur d'instruments de Physique, 4, rue Rothschild, à Genève (Suisse).

LAMY (**Gaspard**), 52, Grande-Rue, à Issy-sur-Seine.

LANGLADE, Ingénieur civil, 22, rue Saint-Augustin.

LAROCHE, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 110, avenue de Wagram.

LAROCQUE, Directeur de l'École des Sciences, à Nantes.

LATCHINOW, Professeur à l'Institut du corps forestier, à Saint-Pétersbourg (Russie).

MM.

LAURENT, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.

LAVIÉVILLE, Professeur au Lycée Condorcet, 56, rue de Lisbonne.

LAW (**Arthur B.**), 49 ter, allées d'Amour, à Bordeaux.

LAWTON (**George Fleetwood**), Ingénieur-Directeur de l'Eastern Telegraph C°, 2, boulevard du Muy, à Marseille.

LEBLANC, ancien élève de l'École Polytechnique, 132, boulevard Magenta.

LEBOSSÉ (l'Abbé), Professeur de Physique au Collège de Valognes.

LECHAT, Professeur en retraite, 30, rue Gay-Lussac.

LE CHATELIER, Ingénieur des Mines, professeur de Chimie générale à l'École des Mines, 7, rue Nicole.

LE CHATELIER, Élève ingénieur des constructions navales, 74, rue de Rennes.

LE CHATONNIER, Préparateur de Physique au Lycée Condorcet.

LECOQ DE BOISBAUDRAN (**François**), Correspondant de l'Institut, à Cognac, et 36, rue de Prony.

LE CORDIER (**Paul**), Docteur ès sciences, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger, 52, rue Michelet, Alger-Mustapha.

LEDEBOER, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Paris.

LE DOLLEY, Contrôleur des Télégraphes, 15, rue Terme, à Lyon. Central.

LEDUC, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 136, rue d'Assas.

LEFEBVRE, Capitaine au 95e d'infanterie, à Bourges.

LEFEBVRE, Professeur au Lycée de Versailles, 18, rue Montbauron.

LEFEBVRE (**Victor**), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 70, avenue du Maine.

LEMOINE (**E.**), ancien élève de l'École Polytechnique, 5, rue Littré.

LEMOINE (**G.**), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 76, rue d'Assas.

LEMONNIER, Ancien élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Suffren.

LEMSTRÖM (**Selim**), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

LEPERCQ (**Gaston**), Professeur de Chimie à la Faculté libre, 25, rue du Plat. à Lyon.

LERMANTOFF, Préparateur au Cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

LE ROUX, Examinateur à l'École Polytechnique, 120, boulevard Montparnasse.

LESAGE, Professeur au Lycée de Châteauroux.

LESCHI, Professeur au Collège d'Ajaccio (Corse).

LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

LÉVY, Chef d'Institution, 20, rue Vauquelin.

LÉVY (**Armand**), Professeur au Lycée de Troyes.

LIBERT (**J.-C.-D.**), Professeur au Collège de Morlaix.

LIPPICH (**Fr.**), Professeur à l'Université de Prague (Autriche).

LIPPMANN, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 108, boulevard Saint-Germain.

LISLEFERME (**de**), Ingénieur en retraite, à Taillebourg (Charente-Inférieure).

LOIR, Directeur-Ingénieur des télégraphes, à Lyon.

MM.

LORRAIN (**James-Grieves**), Ingénieur civil, 1, Wardrobe Place Doctors Commons, London. E. C.

LOUGUININE, Officier supérieur de l'armée russe, 4, rue Mesnil.

LUCCHI (Dr **Guglielmo de**), Professeur de Physique au Lycée Royal Tito Livio, Padoue (Italie).

LUTZ, Constructeur d'instruments d'optique, 65, boulevard Saint-Germain.

LYON (**Gustave**), ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart.

MACÉ DE LÉPINAY, Professeur à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamps, à Marseille.

MACH (Dr **E.**), Professeur de Physique à l'Université de Prague (Autriche).

MAGNE, Directeur-Ingénieur du contrôle des Postes et des Télégraphes, 34, avenue de Villiers.

MAICHE, Ingénieur électricien, 3, rue Louis-le-Grand.

MAIGRET (**Dr**), 44, avenue de la République, Grand-Montrouge.

MAISONOBE, Lieutenant au 6e régiment d'Artillerie, à Clermont-Ferrand.

MALLARD, Ingénieur en chef des Mines, professeur de Minéralogie à l'École des Mines, 11, rue de Médicis.

MANEUVRIER, Agrégé de l'Université, attaché à l'École des Hautes Études, 54, rue Notre-Dame-des-Champs.

MAREY, Membre de l'Institut, 11, boulevard Delessert.

MARIA (**Emile**), Professeur à l'École Turgot, 12, rue de Longchamps.

MARIÉ-DAVY, Directeur de l'Observatoire météorologique de Montsouris.

MARTIN (**Ch.**), rue de Bonneval, à Chartres.

MARTINET, Professeur au Lycée Janson de Sailly, 108, rue de la Pompe.

MASCART, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, Directeur du Bureau central météorologique, 60, rue de Grenelle.

MASSE, Professeur au Lycée de Cahors.

MASSIEU, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes.

MASSON (**G.**), Libraire-Éditeur, 120, boulevard Saint-Germain.

MATHIAS (**Émile**), Agrégé-Préparateur à la Faculté des Sciences, 75, rue Saint-Honoré.

MAUMENÉ, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lyon, et 91, avenue de Villiers.

MAUPEOU D'ABLEIGES (**de**), Ingénieur de la Marine, Membre du Conseil des travaux, 30, rue Vittal (Passy).

MAURAT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 31, boulevard de Port-Royal.

MEAUX (**de**), Chef de Bureau au Ministère des Postes et des Télégraphes, 44, rue Saint-Placide.

MELSENS, Membre de l'Académie des Sciences de Bruxelles, 17, rue de la Grosse-Tour, à Bruxelles.

MENDELSSOHN (**Maurice**), Docteur en Médecine, 21, rue de Marignan.

MÉNIER (**Henri**), 5, avenue Van-Dyck.

MM.

MERCADIER, Directeur des Études à l'École Polytechnique, 2, rue Descartes.

MERGIER, Préparateur des travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine de Paris.

MERLIN (**Paul**), Professeur au Lycée Condorcet, 7, rue de la Montagne Sainte-Geneviève.

MÉRITENS (**de**), Ingénieur, 73, rue Pigalle.

MERSANNE (**de**), Ingénieur-Électricien.

MESLIN, Professeur au Lycée de Poitiers, 28, place d'Armes.

MESTRE, ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur au chemin de fer de l'Est, 132, rue Lafayette.

MEURIEN, Pharmacien, à Lille.

MEYLAN, Ingénieur, 5, Place du Panthéon.

MEYSENHEIM (**Louis-Maria**), Chef de Section des Chemins de fer au Ministère des Travaux publics, 4, avenue de la Gare, à Nanterre-sur-Seine.

MINARY, Ingénieur, 37, rue Battant, à Besançon.

MINGASSON, Professeur au Lycée de Vanves.

MINNE, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue de la Glacière.

MOITESSIER (**Albert**), Professeur à l'École de Médecine de Montpellier, Faubourg Boutonnet.

MOLTENI, Ingénieur-Constructeur, 44, rue du Château-d'Eau.

MOLZ, Ingénieur, 149, rue de Rennes.

MONDOS (**Robert**), Ingénieur, 89, rue Nollet.

MONTHIERS (Maurice), 70, rue d'Amsterdam.

MONOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Lyon.

MONTEFIORE, 7, rue Christophe-Colomb.

MONTEIL (**Silvain**), Professeur au Collège de Vannes.

MORANA (**Ignace**), Électricien, 44, rue de Lausanne, à Genève.

MORELLE, Chef des travaux pratiques de la Physique à la Faculté de Médecine, 11, rue Caumartin, à Lille.

MORELLE, Constructeur-Mécanicien, 39, avenue d'Orléans.

MORRIS, Chef de Bureau au Ministère des Postes et des Télégraphes, 26, rue Martignac.

MORS, Ingénieur, fabricant d'appareils électriques, 4 *bis*, rue Saint-Martin.

MOSER (**Dr James**), 7, Anhalt Strasse, Berlin.

MOUCHEZ (l'Amiral), Directeur de l'Observatoire de Paris.

MOUCHOT, Professeur en retraite, 39, rue de Fleury, à Fontainebleau.

MOUTIER, Examinateur de sortie à l'École Polytechnique, 13, rue Gay-Lussac.

MOUTON, Maître de conférences de Physique à la Sorbonne, 1, rue de l'Audience, à Fontenay-sous-Bois.

MUIRHEAD (Dr **Alexandre**) F. C. S., 3, Elm Court, Temple E. C. Londres.

MUIRHEAD (**John**), Fabricant d'appareils électriques, à Londres, 29, Regency-Street, Westminster, Londres.

MM.

NACHET (**A**), Constructeur d'instruments d'optique, 17, rue Saint-Séverin.

NACHET (Jeune), Constructeur d'instruments d'optique, 21, rue Caumartin.

NAMBA MASSACHI, à l'Université, Dép^t des Sciences, à Tokio (Japon).

NAPOLI (**David**), Inspecteur du matériel, chef du Laboratoire des Essais au chemin de fer de l'Est, 34 *ter*, rue de Dunkerque.

NERVILLE (**de**), Sous-Ingénieur des Télégraphes, 116, boulevard Haussmann.

NEUBURGER, Professeur au Lycée, 11, avenue du Vieux-Marché, à Orléans.

NEYRENEUF, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen.

NOAILLON, Ingénieur civil, à la Chénée, près Liège (Belgique)

NOË (**Charles**), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 11, rue Laromiguière.

NOTHOMB (**Louis**), Ingénieur électricien, Administrateur délégué de la Compagnie générale d'électricité, 91, avenue Louise, à Bruxelles.

ODINOT, Professeur au Collège, 1, rue de l'Hôtel-de-Ville, à Épinal.

OFFRET, Professeur au Lycée, 9, rue Martin-du-Nord, à Douai.

OFFRET, Agrégé-préparateur au Collège de France, 23, boulevard Saint-Germain.

OGIER (**Jules**), Docteur ès sciences, Chef du laboratoire de Toxicologie, 6, rue de Beaune.

OLIVIER (**Louis**), Docteur ès sciences, 90, rue de Rennes.

OLLIVIER (**A.**), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

ONDE, Professeur au Lycée Henri IV, 41, rue Claude-Bernard.

ORDUÑA, Ingénieur, à Madrid (Espagne).

ORLÉANS (Comte **d'**), Colonel d'État-Major en retraite, 9, rue de Mailly.

PAILLARD-DUCLÉRÉ (**Constant**), Secrétaire d'Ambassade, 96, boulevard Haussmann.

PAILLOT, Chef des Travaux pratiques à la Faculté des Sciecnes de Lille.

PALMADE, Professeur au Lycée de Saint-Etienne.

PALMADE, Capitaine du Génie, à Grenoble.

PANZANI (**J.-P.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand.

PARAYRE (l'abbé), Licencié ès Sciences physiques, 9, rue Vineuse.

PARENTHOU (**Émile**), Ingénieur, 20, rue des Grands-Augustins.

PARISSE, Ingénieur des Arts et Manufactures, 49, rue Fontaine-au-Roi.

PARMENTIER, 21, avenue de la Toison-d'Or, à Bruxelles (Belgique).

PASQUIER (D^r), rue Saint-Nicolas, à Evreux.

PASSOT (D^r), Aide-Major au 122e de ligne, à Montpellier.

PAUCHON (**Ernest**), Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 49, rue Ecuyère, à Caen.

PAUL (**Amédée**), Directeur de l'Eastern Telegraph C^e, à Bone (Algérie).

PAUMÈS, Docteur en Médecine, rue Pergaminien, à Toulouse.

PAYN (**John**), Directeur de l'Eastern Telegraph C^e, au Caire (Egypte).

PEDROSO (**Carlos de**).

MM.

PELLAT (**H.**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 3, avenue de l'Observatoire.

PELLERIN, Professeur de Physique à l'École de Médecine de Nantes.

PELLIN (**Philibert**), Ingénieur des Arts et Manufactures, associé de M. J. Duboscq, 21, rue de l'Odéon.

PÉRARD (**L.**), Professeur à l'Université, 101, rue St-Esprit, à Liège (Belgique).

PÉRIGNON, 105, rue du Faubourg-Saint-Honoré.

PERNET, Professeur de Physique en retraite, 3, rue Bernard, à Dôle.

PERNET (Dr **J.**), Gœbenstrasse, Berlin.

PÉROT, Dessinateur et Graveur, 117, boulevard de Créteil, à Saint-Maur-les-Fossés.

PERROT (**Paul**), Aide au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

PEUCHOT, Dessinateur et graveur, 10, rue de Nesles.

PHILBERT, Ancien receveur des télégraphes, 37, rue des Plantes, au Mans.

PHILIPPE, Professeur au Collège Sainte-Barbe, 21, rue Paradis.

PHILIPPON (**Paul**), Répétiteur au Laboratoire d'Enseignement de la Sorbonne, 166, boulevard Montparnasse.

PICOU, Ingénieur des arts et manufactures, à l'usine Edison, 5, rue du Parc, à Ivry-sur-Seine.

PILLEUX, 16, rue du Prévôt, à Beauvais.

PINEL (**Charles-Louis**), Ingénieur mécanicien, 26, rue Méridienne, à Rouen.

PIONCHON, Agrégé-Préparateur à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm.

PITANGA (**Epiphanio**), Professeur à l'École Polytechnique de Rio-Janeiro, 50, rua do Marquez d'Abrantes.

PLANTÉ (**Gaston**), 56, rue des Tournelles.

PLATZER (**H.**), Professeur de Mathématiques, 11, rue Miromesnil.

PLOIX (**Charles**), Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.

POINCARÉ, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 4, carrefour de l'Odéon.

POIRÉ, Professeur au Lycée Condorcet, 95, boulevard Malesherbes.

POLLARD (**Jules**), Ingénieur des constructions navales, professeur à l'École d'application du Génie maritime, 92, rue du Bac.

PONSELLE (**Georges**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 19, rue de Madrid.

POPP (**Victor**), Administrateur-directeur de la Compagnie des horloges pneumatiques, 16, rue Sainte-Anne.

POTIER, Ingénieur en chef des mines, Professeur à l'École Polytechnique, 89, boulevard Saint-Michel.

POUSSIN (**Alexandre**), Ingénieur manufacturier, Château de Thuit-Hébert, par Bourgtheroulde (Eure).

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Londres.

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg

PUJALET, Préparateur au Collège Rollin, 12, avenue Trudaine.

PUPIN, Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.

PUYFONTAINE (Comte **de**), 34, avenue Friedland.

MM.

RADIGUET (**fils**), Opticien constructeur, 15, boulevard des Filles-du-Calvaire.

RAFFARD, Ingénieur, 16, rue Vivienne.

RAMEAU (**l'abbé**), Professeur de Physique à l'Institution Saint-Cyr, à Nevers.

RANQUE (**Paul**), Docteur en Médecine, 13, rue Champollion.

RAYET, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

RAYMOND, Ingénieur des constructions navales, à Lorient.

RAYNAUD, Chef de bureau au Ministère des Postes et des Télégraphes, Répétiteur à l'École Polytechnique, 50, boulevard Saint-Germain.

RECHNIEWSKI, Ingénieur, 5, place du Panthéon.

RECOURA (**Albert**), Agrégé préparateur au Collège de France, 18, rue de la Sorbonne.

REDIER, Constructeur, 8, cour des Petites-Écuries.

RÉGNARD, Sous-Directeur du Laboratoire de Physiologie de la Faculté des Sciences, 46, boulevard Saint-Michel.

REISET, Membre de l'Institut, 2, rue de Vigny.

RENARD, Capitaine du Génie, 7, avenue de Trivaux, à Meudon.

REY (**Casimir**), Professeur de Mathématiques à l'École du Génie, 25, boulevard de la Reine, à Versailles.

REYNIER, Ingénieur électricien, 3, rue Benouville.

RIBAIL (**Xavier**), Ingénieur de la traction au Chemin de fer de l'Ouest, 50, rue Truffault.

RIBAN (**Joseph**), Directeur adjoint du Laboratoire d'enseignement chimique et des Hautes Études, 85, rue d'Assas.

RICHARD, Administrateur délégué de la Société Générale des Téléphones, 4, rue d'Aboukir.

RICHARD, Ingénieur-Constructeur, 8, impasse Fessart (Belleville).

RICHET (**Th.**), Professeur agrégé à la Faculté de Médecine, 15, rue de l'Université.

RIGAUD (**J.**), Docteur en Médecine, 32, rue des Carbonnets, à Bois-Colombes.

RIGOUT, Préparateur de Chimie à l'École des Mines.

RIVIÈRE, Professeur au Lycée Saint-Louis, 17, rue Gay-Lussac.

ROBIN (**P.**), Directeur de l'École de l'orphelinat Prévost, appartenant au département de la Seine, à Cempuis (Oise).

ROCANDÉ (**Olivier R.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 2, rue d'Auteuil.

RODDE (**Ferd.**), 7, rue du Delta.

RODDE (**Léon**), 107, rua do Ouvidor, à Rio-Janeiro (Brésil).

RODOCANACHI (**Emmanuel**), 8, avenue Hoche.

ROGER (**Albert**), rue Croix-de-Bussy, à Épernay.

ROGER, ancien Chef d'Institution, 161, rue Saint-Jacques.

ROGNETTA (**F.-B.**), Ingénieur, 62, via Borgonuovo, à Turin (Italie).

ROIG Y TORRES (**Raphaël**), Professeur à la Faculté des Sciences de Barcelone (Espagne).

ROISIN (**Paul**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 42, rue des Fourneaux.

MM.

ROMILLY (**de**), 8, rue de Madrid.

ROOSEVELT, Ingénieur, au château de Bray, par Saint-Perret (Ardèche).

ROSENSTIEHL, Chimiste, Directeur de l'usine Poirier, 114, route de Saint-Leu, à Enghien.

ROUBY (**Emmanuel**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 13, avenue Duquesne.

ROULOT, Ingénieur opticien, 58, quai des Orfèvres.

ROUSSE, Professeur en retraite, 23, rue Neuve, à Saint-Étienne.

ROUSSEAU, Professeur à l'Université, 20, rue Vauthier, à Ixelles-Bruxelles.

ROUSSELET, Professeur au Lycée Charlemagne, 4, rue Guy-de-la-Brosse.

ROUX (**Gaston**), Préparateur à l'École de Physique et de Chimie industrielle, 51, rue de Dunkerque.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Henri**), Ingénieur des Manufactures de l'État, 3, place Péreire.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Émile**), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 85, avenue de Villiers.

SAINT-LOUP, Doyen de la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.

SALET, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 120, boulevard Saint-Germain.

SAMBOURG (**Ch.**), Inspecteur Ingénieur des Lignes télégraphiques, 31, avenue de Neuilly, à Neuilly-sur-Seine.

SANDOZ (**Albert**), Préparateur des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 40, rue d'Ulm.

SARCIA (**Gril**), Capitaine d'Artillerie de Marine, 76, rue Rochechouart.

SARRAU, Ingénieur en chef des Poudres et Salpêtres, professeur de Mécanique à l'École Polytechnique, 11, rue de l'Arsenal.

SAUTTER (**Gaston**), Ingénieur, 26, avenue de Suffren.

SAUVAGE (**Henri**), Contrôleur du service technique des Télégraphes, à Évreux, rue de l'École Normale.

SCHAEFFER, Chimiste, à Dornach, près Mulhouse (Alsace).

SCHNEIDER (**Théodore**), Professeur de Chimie à l'École Monge, 40, rue du Four.

SCHWEDOFF, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

SCHODDUIJN (l'abbé), Professeur de Sciences, à Gravelines.

SCIAMA, Ingénieur civil des Mines, directeur de la maison Bréguet, 10, rue Sainte-Anne.

SEBERT, Colonel d'Artillerie de Marine, Directeur du laboratoire central de la Marine, 13, rue de la Cerisaie.

SÉGUIN, ancien Recteur, 36, rue de la Bruyère.

SEIGNETTE (**Adrien**), Licencié ès Sciences, 21, rue Tronchet.

SELIGMANN-LUI, Sous-Inspecteur des Télégraphes, 103, rue de Grenelle.

SERRÉ-GUINO, Examinateur à l'École de Saint-Cyr, 36, rue Saint-Placide.

SERRIN (**V.**), Ingénieur, 1, boulevard Saint-Martin.

SIMON, Pharmacien, à la Ferté-Fresnel (Orne).

MM.

SIMOUTRE (l'abbé), Professeur de Physique au grand séminaire de Nancy.

SIRE (**G.**), Docteur ès Sciences, Essayeur de la Garantie, à Besançon-Mouillière.

SIRVENT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 106, rue de Rennes.

SLOUGUINOFF, Professeur à l'École Polytechnique de Moscou (Russie).

SOLIGNAC, Ingénieur-Électricien, 247, rue Saint-Honoré.

SOMZÉE, Ingénieur honoraire des Mines, 117, rue Royale, à Bruxelles (Belgique).

STAPFER (**Daniel**), Ingénieur, boulevard de la Mayor, à Marseille.

STREET (**Charles**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 2, rue Lafitte.

STEPANOFF, Professeur de Physique, à Cronstadt (Russie).

STOKES (**G.-G.**), Professeur de Mathématiques à l'Université de Cambridge. — Lensfield Cottage, Cambridge.

STOLETOW (**Al.**), Professeur à l'Université de Moscou (Russie).

STRAUSS, Capitaine du Génie, Attaché au Dépôt des fortifications, 8, rue Saint-Dominique.

STRUMBO, Professeur à l'Université d'Athènes (Grèce).

TACCHINI, Astronome, Directeur du Bureau météorologique d'Italie, à Rome.

TEISSERENC DE BORT (**Léon**), Chef du Service de Météorologie générale au Bureau central météorologique, Secrétaire général de la Société Météorologique de France, 82, avenue Marceau.

TEISSIER, Professeur au Lycée, 9, rue du Collège, à Nice.

TEPLOFF, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir Kaies, 15, maison Friedrichs, à Saint-Pétersbourg (Russie).

TERQUEM, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.

THENARD (**Arnould**), 6, place Saint-Sulpice.

THIERCELIN, Ingénieur des Arts et Manufactures, 43, rue Madame.

THIESEN, adjoint au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

THOLLON, à l'Observatoire de Nice (Alpes-Maritimes).

THOMPSON (**Silvanus-P.**), Professeur à University College, Bristol (Angleterre).

THOMSON (Sir **William**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow (Écosse).

THOUVENOT (**Clovis**), Ingénieur-Électricien, 43, Limmocthstrasse, à Zurich.

THYRION, Professeur au Collège, 201, rue Saint-Merry, à Fontainebleau.

TIMIRIAZEFF, Professeur de Physiologie végétale, à Moscou (Russie).

TISSANDIER (**Gaston**), Directeur du Journal « *La Nature* », 19, avenue de l'Opéra.

TOMMASI (**Donato**), Professeur de Chimie, 13, rue Daru.

TOMMASI (**Ferdinando**), Ingénieur, 13, rue Daru.

TONARELLI, Censeur du Lycée de Périgueux.

TOUANNE (**de la**), Ingénieur des télégraphes, 13, rue Soufflot.

TRANNIN (**Henri**), ancien Préparateur à la Faculté des Sciences de Lille, à Fampoux (Pas-de-Calais).

TRIPIER (le Dr), 4, rue de Hanovre.

MM.

TROTIN, Ingénieur des télégraphes, 34, quai Henri IV.

TROUVÉ (**G.**), Constructeur d'instruments de précision, 14, rue Vivienne.

TULEU, Ingénieur, 17, rue Visconti.

UCHARD (**A.**), Capitaine d'artillerie, 4, rue Maurepas, à Versailles.

VACHER (**Paul**), 45, rue de Sèvres.

VAGNIEZ BENONI, Négociant, 14, rue Lemerchier, à Amiens.

VALBY, Pharmacien de 1re classe, à Dijon.

VALETTE, Rédacteur au Journal « *Cosmos* », 8, rue François Ier.

VAN BIERVLIET (**Albert**), 39, rue des Joyeuses-Entrées, à Louvain.

VANDENBROUCQUE, Professeur à l'Institution libre, à Marcq en Barœul (Nord).

VAN DER MENSBRUGGHE (**Gustave-Léonard**), Professeur de Physique mathématique à l'Université, 80, Coupure, à Gand (Belgique).

VAN DER VLIETH, Professeur de Physique à l'Université de St-Pétersbourg.

VARACHE, Professeur au Collège de Béziers.

VARENNE (**de**), Préparateur du Laboratoire de physiologie générale au Muséum, 7, rue de Médicis.

VARIN, Professeur au Collège, à Épinal.

VASCHY, Sous-Ingénieur des Télégraphes, Répétiteur à l'École Polytechnique, 71, avenue de la Bourdonnais.

VAUCHERET, Colonel d'Artillerie, Directeur de la Section technique de l'Artillerie, 1, place Saint-Thomas d'Aquin.

VAUTIER (**Théodore**), Chargé des conférences de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon.

VERDIN, Constructeur d'instruments pour la Physiologie et la Médecine, 6, rue Rollin.

VIEILLE, Ingénieur des Poudres et Salpêtres, Répétiteur à l'École Polytechnique, 2, boulevard Henri IV.

VILLARS, Professeur au Lycée de Bordeaux.

VILLIERS (**Antoine**), Agrégé à l'École de Pharmacie, 20, avenue de l'Observatoire.

VILLY, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand.

VIOLET (**Léon**), sous-directeur des ateliers Carpentier, 20, rue Delambre.

VIOLLE, Maître de conférences à l'École normale, 89 boulevard Saint-Michel.

VION, Professeur à l'École primaire supérieure d'Amiens.

VLASTO (**Ernest**), Ingénieur, Administrateur de la Société anonyme de fabrication de produits chimiques, 44, rue des Écoles.

VOIGT, Professeur au Lycée, 30, rue des Gloriettes, à Lyon.

VOISENAT (**Jules**), Sous-Ingénieur des télégraphes, 44, rue Sainte-Placide.

WAHA (**de**), Professeur de Physique à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

MM.

WALLON (**E.**), Professeur au Lycée Janson de Sailly, 65, rue de Prony.

WARREN DE LA RUE, Correspondant de l'Institut, 73, Portland Place, Londres, W.

WEISS, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 59, rue Madame.

WENDT (**Gustave**), Constructeur d'instruments de Physique (maison Hempel), 55, quai des Grands-Augustins.

WERLEIN, Constructeur d'instruments d'Optique, 20, rue du Cardinal Lemoine.

WEST (**Émile**), Ingénieur-Chimiste au Chemin de fer de l'Ouest, 13, rue Bonaparte.

WEYHER, Ingénieur, Administrateur Directeur de la Société centrale de Construction de Machines, 36, rue Ampère.

WIEDEMANN (**Eilhard**), Professeur de Physique à Leipzig (Saxe).

WITZ (**Aimé**), Ingénieur civil, 104, boulevard Vauban, à Lille.

WOLF, Membre de l'Institut, Astronome à l'Observatoire de Paris, 1, rue des Feuillantines.

WROBLEWSKI (**Dr Sigismond de**), Professeur de Physique à l'Université de Cracovie (Autriche).

WUNSCHENDORFF, Ingénieur chargé de la construction des lignes souterraines, au Ministère des Postes et des Télégraphes, 97, rue de Rennes.

XAMBEU, 41, Grande-Rue, à Saintes.

YVON, Pharmacien, 7, rue de la Feuillade.

ZAHM (**J.-A.**), Professeur de Physique à l'Université Notre-Dame (Indiana) (États-Unis).

ZEGERS (**Louis-L.**), Ingénieur des Mines du Chili, Chacabuco, 57, à Santiago.

ZILOFF, Professeur de Physique à l'Université de Varsovie (Russie).

Avril 1886.

Prière d'adresser au Secrétaire général les rectifications et changements d'adresse.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

SÉANCE DU 16 JANVIER 1885 5
Rapport de la Commission des comptes 7
Allocution de M. Potier 9

SÉANCE DU 6 FÉVRIER 1885 12

SÉANCE DU 20 FÉVRIER 1885 15
Sur le dimorphisme de l'iodure d'argent; par MM. *Mallard* et *Le Châtelier* 18

SÉANCE DU 6 MARS 1885 24
Force électromotrice de combustion. — Étude des moyens employés pour prendre le potentiel de l'air; par M. *H. Pellat* 27
Sur la forme de la surface de l'onde lumineuse dans un milieu isotrope placé dans un champ magnétique uniforme; existence probable d'une double réfraction particulière dans une direction normale aux lignes de force; par M. *A. Cornu* 33

SÉANCE DU 20 MARS 1885 40
Sur le foisonnement du plomb dans les accumulateurs; par M. *E. Reynier*. 43
Appareil pour contrôler les surfaces courbes sphériques ou cylindriques; objectifs, lentilles convergentes ou divergentes; miroirs concaves et convexes; sphères; par M. *Léon Laurent* 52

RÉUNIONS DES MARDI 7 ET MERCREDI 8 AVRIL 1885 57

SÉANCE DU 17 AVRIL 1885 60

SÉANCE DU 1er MAI 1885 63
Locomotion de l'homme. — Images stéréoscopiques des trajectoires que décrit dans l'espace un point du tronc pendant la marche, la course et les autres allures; par M. *Marey* 67
Nouveau procédé pour obtenir la liquéfaction de l'oxygène; par M. *Cailletet* 71

SÉANCE DU 15 MAI 1885 75
Sur le phénomène de la surfusion cristalline du soufre et sur la vitesse de transformation du soufre prismatique en octaédrique; par M. *D. Gernez* 78

Pages.

SÉANCE DU 5 JUIN 1885 90
Appareil à faire le vide; par M. *de Romilly* 94
Sur la conductibilité électrique du mercure et des métaux purs aux basses températures; par MM. *Cailletet* et *Bouty* 97
Sur la théorie de la machine de Gramme; par M. *Mascart* 105

SÉANCE DU 19 JUIN 1885 112
De l'obtention par la photographie des épreuves stéréoscopiques à perspective exacte; par M. *Cazes* 115
Mesure du pouvoir rotatoire magnétique des corps en unités absolues; par M. *Henri Becquerel* 117

SÉANCE DU 3 JUILLET 1885 129
Sur un dispositif qui permet d'obtenir sans calcul le potentiel magnétique dû à un système de bobines; par M. *Lippmann* 131
Sur la loi de Gladstone et la variation de l'indice moléculaire; par M. *Dufet* 133

SÉANCE DU 17 JUILLET 1885 141
Sur la protection des zincs dans les couples voltaïques; par M. *Émile Reynier* 145
Nouvel hygromètre à condensation; son emploi pour la graduation des hygromètres à cheveu; par M. *G. Sire* 150
Influence des orages sur les lignes télégraphiques souterraines; par M. *Blavier* 153

SÉANCE DU 20 NOVEMBRE 1885 154
Sur l'emploi des courants alternatifs pour la mesure des résistances liquides; par MM. *Bouty* et *Foussereau* 157
Machine à influence du type de M. Wimshurst; par M. *Hillairet* 163
Sur deux espèces nouvelles de radiophone; par M. *Mercadier* 170

SÉANCE DU 4 DÉCEMBRE 1885 173
Sur la résistance électrique de l'alcool; par M. *G. Foussereau* 175
Sur les raies spectrales de l'hydrogène et des métaux; par M. *A. Cornu*. 182
Tubes à hydrogène; par M. *A. Cornu* 190

SÉANCE DU 18 DÉCEMBRE 1885 193
Étude sur les machines dynamo-électriques; par M. *Rechniewski* 197

Liste des Ouvrages reçus en 1885 205
Table par noms d'auteurs des matières contenues dans les années 1873-1885 209
Table analytique des matières contenues dans les années 1873-1885 217

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

11106 Paris. — Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55.

This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.